

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1252

July 2023

ネットワーク構造から見た日本のコンテナ港湾の重要性についての考察

杉村佳寿・赤倉康寛・川崎智也

Consideration of the Importance of Japanese Container Ports
through Network Analysis

SUGIMURA Yoshihisa, AKAKURA Yasuhiro, KAWASAKI Tomoya

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

ネットワーク構造から見た日本のコンテナ港湾の重要性についての考察

杉村佳寿*
赤倉康寛**
川崎智也***

要 旨

日本のコンテナ港湾の国際競争力の低下を受け、日本政府は 1990 年代から港湾改革を実施してきたが、少なくともコンテナ貨物取扱量の面では、日本の港はプレゼンスを低下させてきた。しかし、他のアジア新興国の成長に伴い、港湾取扱量の相対的なシェアは当然低下するため、日本の港湾政策や国際的なプレゼンスを取扱量だけで評価するのは適切ではないとも考えられる。本稿では、日本の港湾政策の対象である京浜港と阪神港の世界の海上コンテナ輸送ネットワークにおける重要性を、ネットワーク分析による中心性指標を用いて評価した。分析の結果、アジア主要港が常に上位に位置する一方で、各中心性指標における京浜・阪神港の順位が低下していることが明らかになった。しかし、政策による港湾の活性化に加え、アジア主要港のネットワークにおける重要性が増し、両港のアジア主要港とのリンクが強化されたことと相俟って、京浜・阪神港のネットワークにおけるプレゼンスは、貨物取扱量の順位の下下ほどには低下していない。また、3 つのシナリオ分析では、国内ハブ機能の強化という政策目標が完全に達成されれば、京浜・阪神港はさらにプレゼンスが向上し、トランシップ機能をアジアのハブ港に依存する政策に転換すれば、ネットワーク上でのプレゼンスが確保されることが明らかとなった。また、日本の港湾は釜山港への依存度が高いため、ネットワーク構造上、釜山港の機能停止に対して極めて脆弱であり、この問題を解決するためには、京浜・阪神港を国内ハブとして機能させることが重要である。中心性指標に加えてネットワーク構造の脆弱性を考慮することは、日本のコンテナ港湾政策の方向性を検討する上で非常に重要である。

キーワード：ネットワーク分析，港湾政策，中心性指標，海上コンテナ輸送ネットワーク

* 港湾・沿岸海洋研究部 港湾新技術研究官
** 港湾・沿岸海洋研究部 港湾システム研究室長
*** 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 講師
〒239-0826 横浜賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Consideration of the Importance of Japanese Container Ports through Network Analysis

SUGIMURA Yoshihisa*
AKAKURA Yasuhiro **
KAWASAKI Tomoya ***

Synopsis

Although the Japanese government has implemented port reforms since the 1990s in response to the declining international competitiveness of Japan's container ports, Japanese ports have continued to decline, at least in terms of containerized cargo handling volume. However, since the relative share of port handling volumes would naturally decline with the growth in other emerging Asian economies, it may not be appropriate to evaluate Japan's port policies or international presence solely in terms of cargo handling volume. This study examines the importance of Keihin and Hanshin Ports, which are the targets of port policies, based on centrality analysis in the context of global maritime container network. The results of the network analysis reveal that the rankings of Keihin and Hanshin in each centrality index have declined while major ports in Asia have consistently ranked high in the global marine container transport network. However, together with the vitalization of port functions by policies, the increased importance of the Asian major ports in the network, combined with the strengthening of links of both ports to other Asian major ports, do not result in a decline in the presence of Keihin and Hanshin in the network as much as a decline in the ranking of cargo handling volume. In addition, the three scenario analyses confirm that Keihin and Hanshin would be further enhanced if the policy goal of strengthening domestic hub functions is fully achieved, and that even if the transshipment function must rely on Asian hub ports, its presence on the network will be ensured. In addition, as Japanese ports are highly dependent on Busan, they are extremely vulnerable to the malfunction of Busan in terms of network structure; thus, making Keihin and Hanshin function as domestic hubs is crucial to address this problem. Moreover, considering the vulnerability in the network structure in addition to the centrality index is very important to consider the direction of Japan's container port policies.

Key Words: Network Analysis, Port Policy, Centrality, Global Maritime Container Network

* Research Coordinator for Advanced Port Technology, Port, Coastal and Marine Department

** Head of Port Systems Division, Port, Coastal and Marine Department

*** Lecturer, Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 先行研究の整理	2
3. 方法論	3
3.1 global maritime container network の作成	3
3.2 中心性指標	4
4. 日本のコンテナ港湾政策	5
5. 分析結果	7
6. 考察	9
7. 結論	11
参考文献	12

1. はじめに

海上輸送は、国際貿易の支配的な輸送モードであり(Xu et al., 2022), グローバルサプライチェーンにおいては、ノードとしての港湾とリンクとしての海運サービスが重要な役割を果たしている (Calatayud et al., 2017). 特に、1966年に開始した世界貿易でのコンテナリゼーションは経済的なグローバリゼーションを進展させた (Levinson, 2006). 1980年代に入るとコンテナ取扱量は急激に増加し、これに伴い 1990年代にはコンテナ船の大型化が進展した (Bernhofen et al., 2016). 船舶の大型化は寄港地の絞り込みと寄港頻度の減少を伴うため、コンテナ港湾間の競争が激化、世界的なコンテナハブ港の出現へと繋がった (Notteboom et al., 2017). こうした環境変化は、船社側と港湾側の両方に大きな動きをもたらした.

船社側では戦略的アライアンスの形成である. 2000年代までは、自社で規模の経済と範囲の経済を享受しうる巨大船社はアライアンスに参加しない傾向にあったが、2010年代に入ると、巨大船社でさえ、生き残り利益獲得のためアライアンスに参加するようになり、さらに、海運業界では M&A による業界再編が盛んで、アライアンスも変化している (Notteboom et al., 2017). 港湾側では、大型船舶による少ないサービスを競い合う港湾間競争に直面するとともに、強い交渉能力を持った船社アライアンスグループと取引をしなければならなくなった (Notteboom et al., 2017). そのため、費用削減やサービス改善 (Chiu and Yen, 2015), 効率性や生産性の向上 (Zhang et al., 2019) を目的として、1980年代後半以降多くの国で港湾ガバナンス構造を変化させる港湾改革が進められてきた (Brooks et al., 2017). 港湾改革を経て、現在では主要なコンテナ港湾の多くは Landlord モデルを採用し (Monios, 2019), これに伴い港湾活動の民営化が加速した (Pallis et al., 2008). 現在では、Global terminal operator が M&A を繰り返しながら海外投資を通じて市場支配力を強めており、世界各国の港湾を運営するに至っている (Notteboom and Rodrigue, 2012; Monios, 2019).

もともと日本の港湾は世界における重要な位置にあったが、こうした状況変化の中、1990年中盤以降日本のコンテナ貨物量の伸び率は G7 国家の中で最も低く、日本港湾の世界経済におけるプレゼンスはここ数十年で弱まっていることが指摘されている (Hatani, 2016). 日本の港湾の国際競争力の低下については政府自身も危機感を持ち港湾改革を行ってきたが、少なくとも貨物取扱量という点では国際競争力が回復することはなかった. 高橋 (2014) は、日本の経済力の相対的低下、船社のアライア

ンス形成に伴う航路集約が原因であるとして政策的な失敗を否定しているが、政策に批判的な評価を下す先行研究は多い. Inoue (2018) は、1990年代の世界的なオーバーパナマックス船の配船に際したアジア諸国の素早い対応と比較した日本の港湾政策の失敗を指摘している. Hatani (2016) はスーパー中枢港湾政策が失敗に終わったとし、その理由として関係者が国際状況を理解せず、国内重視により既存の制度を柔軟に変えることができなかったことを挙げ、緊急性を認識しない日本政府の姿勢を、強力なリーダーシップの下で国際港湾間競争の激化にいち早く対応したアジア諸国と対照的であったとしている. Brooks et al. (2017) は、釜山港がハブ港として機能している事実を日本人が心理的に受け入れ難いことが国際コンテナ戦略港湾政策の形成に影響する要因として挙げられている (Shinohara, 2017) のを受け、根深い社会的慣習の政策への影響を「痛々しい」と表現している. Shinohara (2017) は国際コンテナ戦略港湾政策における「選択と集中」や釜山港からのフィーダー貨物の奪還の意義を否定して. 赤倉・佐々木 (2021) は、日本のコンテナネットワークが釜山港に深く依存するリスクを指摘している. また、PA 自体の企業化が実現しておらず、民間参画は世界的に見て遅れており、コンテナターミナル運営市場は世界マーケットの一部とはなっていないことが日本の港湾ガバナンスの特徴であるが (Sugimura, 2020), Inoue (2018) は「世界の大部分の PA が企業化されている中、日本の港湾は依然として地方自治体に管理されていることは驚き」と指摘している.

こうした批判は取扱貨物量という尺度が根底にあり、日本がアジア域内でいち早く経済が成熟する中、中国を始めとする他国が経済成長を遂げることで、相対的な港湾取扱量のシェアが落ちるのは当然とも言え、取扱貨物量だけをもって日本の港湾政策や港湾の国際的なプレゼンスを評価するのは適切ではない. 港湾間競争も量より質の時代に入ったと考えれば、政策の対象港湾が、政策で掲げる目標を達成し、国際的なプレゼンスを有しているかどうかを別の尺度で評価することも必要となる. 海上輸送ネットワークにおいては、最も重要な港が必ずしも最も忙しい港ではないとの指摘があるように (Angeloudis et al., 2007), 貨物を多く扱うことだけが港湾の重要性を示すものではない. ノードである港湾に物理的な損害が生じ機能が著しく損なわれた場合、物流ネットワークに長期的な混乱が生じ (Verschuur et al., 2020), それに依存するサプライチェーンに大規模な影響を及ぼす可能性がある (Lam et al., 2017).

こうした背景の下、本稿では海上コンテナ輸送ネット

ワークにおける重要性の観点から日本の港湾政策の考察を試みる。更に、政策の目標設定の妥当性、政策の維持が困難となった場合の対応の可能性について検討する。近年の海上コンテナ輸送ネットワークに関する研究では、その構造的特徴を理解するために、ネットワーク分析が適用されている (Saito et al., 2022)。しかし先行研究では、日本の港湾が評価されることや、政策によるネットワーク構造や港湾の重要性の変化が考察されることはほとんどなかった。すなわち、本稿の新規性は、ネットワーク分析により日本の港湾の重要性を考察していること、港湾の重要性の変化を通じた港湾政策の考察をネットワーク分析により行うことにある。港湾政策や港湾ガバナンスの変化による港湾の重要度の変化をネットワーク分析で考察することは、望ましい港湾政策の議論を促すことになるはずである。

2. 先行研究の整理

海運や港湾を取り巻く状況の変化の中、多くの船社はハブ&スポークネットワーク戦略を採用してきたことが先行研究で明らかにされている (Imai et al, 2009; Meng and Wang, 2011; Moon et al, 2015)。ハブ&スポーク構造は港湾間に階層を作り、戦略的な地理的位置にあるトランシップに特化した港湾は極めて重要な役割を果たし、ネットワーク内の接続性を向上させてきた (Ducruet and Notteboom, 2012; Ducruet, 2017)。グラフ理論は、このような海上輸送ネットワークを支配する特性や法則、あるいは内部の効率性や脆弱性を明らかにするために使用されてきた (Ducruet and Lugo, 2013)。Calatayud et al. (2017) は、高度な分析ソフトウェアの支援を受けて、ネットワーク分析の採用により海上輸送ネットワーク構造に関する研究が恩恵を受けていることを指摘している。Mou et al. (2022) によれば、海上輸送ネットワークの分析には複雑ネットワーク分析と社会ネットワーク分析があるが、前者はネットワークの特性をトポロジカルかつ動的に明らかにし、後者は結び付きを研究対象として、ネットワーク内の様々なアクター間の相互作用や他のアクターへの影響を探索するものである。

ネットワーク構造の変化に関しては、Cullinane and Khanna (2000) は、第二次世界大戦以降、ネットワークの密度と平均クラスター係数が急激に低下し、大規模ハブを中心としたフローの集中化が進んでいることが明らかにしている。McCalla et al. (2005) は、1994 年と 2002 年のカリブ海のコンテナ輸送ネットワーク構造についてローカル、リージョナル、グローバルの 3 つのレベル

で比較している。Ducruet (2008) は、20 年間の船舶動静のデータベースに基づき、長距離通話からフィーダー輸送へのシフト、北東アジア内の地域化、ハブ港への集中を示している。Ducruet et al. (2010) は、1996 年と 2006 年の北東アジアのコンテナ輸送ネットワーク構造の変化を検証し、中国港湾の成長の中でも釜山と香港の中心性が高いことを示している。Ducruet and Notteboom (2012) は、1996 年と 2006 年のコンテナ輸送ネットワークについて、一定の *robustness* があること、主要ノードとシステムの全体構造という点ではネットワーク特性は安定したままであることを示し、港湾の中心性の変化と港湾のヒエラルキーについて論じている。Gonzalez-Laxe et al (2012) は、2008 年と 2010 年のコンテナ輸送ネットワークの次数と中心性から、港湾のグローバルおよびローカルな重要性を検討し、ハブ港湾の優位性等を示している。Freire Seoane et al. (2013) は、2007 年から 2011 年のコンテナと一般貨物の輸送ネットワークの中心度と次数について、平均的な正規化中心性は、コンテナ船輸送で増加し、一般貨物輸送で減少していることを示し、港湾地域化の傾向やグローバルサプライチェーンの新しい重要な港湾の出現を示唆している。Park et al. (2017) は、2008 年と 2015 年の韓中航路の韓国船社 9 社のデータを用いて、韓国と中国の港湾のネットワークの構造的特徴と中心性を検討し、船社が意図的に上海港等を中心とした航路設計を行うことにより中国港湾の中心性が高まっていることを明らかにしている。Saito et al. (2022) は、1970 年代における世界の海上コンテナ輸送ネットワークについて、主にネットワークの出現とサプライチェーンの再開に着目して分析を行っている。

先行研究では海上輸送ネットワーク、特にコンテナ輸送ネットワーク構造について、スケールフリー性とスモールワールド性が確認され (Ducruet and Notteboom, 2012; Calatayud et al., 2017; Liu et al., 2018a; Pan et al., 2019)、世界の海運ネットワークのハブ&スポーク構造が示されている (Hu and Zhu, 2009; Kaluza et al., 2010; Ducruet and Notteboom, 2012; Ducruet, 2017)。航路の構成が貿易パターンと完全に重なるわけではないことも示されている (Ducruet and Notteboom, 2012, Ducruet and Zaidi, 2012, Ducruet, 2016, Calatayud et al., 2017)。Kaluza et al. (2010) は、世界の海運ネットワークが、コンテナ船、バルクドライキャリア、オイルタンカーの 3 つの貨物船クラスからなる多層構造であり、それぞれ異なるサブネットワークにまたがっていることを示唆した。Ducruet (2013)、Ducruet (2017) は、固体バルク、液体バルク、コンテナ、一般貨物、旅客・車両という 5 つの船舶のカテゴリーに

応じて、港湾間の異なる関係やダイナミクスを分析している。

ネットワーク構造から見た港湾の重要性に言及する文献も多い。Wang and Cullinane (2008) は、コンテナ港のアクセス性を推計し、ネットワーク構造の特徴と港湾間競争を検討している。Lam and Yap (2011) は、港湾の接続性と港湾間関係に着目し、コンテナ輸送ネットワークの中で、上海、釜山、高雄、寧波港の港湾間関係の広がりや強度を調査した。Cullinane and Wang (2012) は、港湾階層内の特定の港湾の位置は、接続されている重要なフローの数と、その起点/終点に依存し、港湾の重要度と接続される重要なフローの数との間に強い相関関係があることを明らかにしている。Montes et al. (2012) は、コンテナと一般貨物の海上輸送ネットワークを分析し、コンテナ輸送システムに比べて、一般貨物ネットワークはスケールフリー性が小さく、ハブ依存性が小さくため構造的に強いことを主張している。Ducruet and Zaidi (2012) は、グローバルな接続性には大規模なハブ港湾が重要であり、地域レベルの接続性には小規模な地域港湾が重要となることを示している。Kang et al. (2014) は、4つの中心性指標で表される港湾のネットワーク特性を明らかにしている。Bartholdi et al. (2016) は、コンテナ輸送ネットワーク内における港湾の貿易接続性を測る新しい指標として取扱量等とネットワーク構造上の重要性を併せた Container Port Connectivity Index を提案している。Zhang et al. (2018) がノードの特性や重要性は広く研究されているが、リンクの特性に関する先行研究は不足していると指摘している通り、リンクベースの混乱戦略をコンテナ輸送ネットワークに適用して評価した Viljoen and Joubert (2016) などに限られている。

ネットワークの脆弱性に関しては、Wu et al. (2019) は、東アジアとヨーロッパのコンテナ定期航路は、マラッカ海峡とスエズ運河への依存度が 50%以上であり、ネットワークの脆弱性はこうした主航路の遮断に対して敏感であることを明らかにしている。Woolley-Meza et al. (2011), Lhomme (2016) は、海上輸送ネットワークのハブアンドスポーク構成が、ハブに対する標的型攻撃に対してネットワークをより脆弱にすることを指摘している。Ducruet (2016) は、スエズ運河とパナマ運河を取り除いたネットワークを評価し、海上ネットワークにおけるその重要性を指摘した。Lhomme (2016) は、ノード群の除去に対する世界の海運ネットワークの脆弱性を評価した。世界の海運ネットワークは比較的レジリエントであるにもかかわらず、特にアジアに位置する最も重要な港の破壊に対してかなり脆弱であることを示した。Fang et al. (2018) は、

軍事衝突、経済制裁の解除、政府選挙といった国際イベントの影響を受けて観測されるネットワークの変化を調査している。Liu et al. (2018b) は、海運ネットワークの構造的特性から見て、自然災害に比べて標的型攻撃に対する robustness が低いことを指摘している。

以上のように、Ducruet (2020) が海上輸送ネットワークの研究経緯について秀逸にレビューを行っている通り、大半の研究は、海運ネットワークのトポロジー、最適化、脆弱性に着目し、ネットワーク全体の構造や港湾ノードの中心性を取扱っている。ただし、船社の戦略との関係については言及があるものの、港湾政策との関係でネットワーク構造や港湾の重要性に言及する先行研究は限られている。例えば、Ducruet et al. (2010) は、地域の港湾政策がネットワーク構造に強い影響を与えることを示している。Song et al. (2019) が、釜山港の混雑緩和のためにサブハブ港として建設された光陽港のネットワークを対象とし、指標によって釜山港の重要性が変化し、hub centrality を用いれば上海と香港が釜山港に比べてより重要な役割を担っていることを明らかにしている。Mou et al. (2022) は、Maritime Silk Road 政策によるコンテナ、バルク、タンカーのネットワーク構造の特徴の変化について詳細に分析している。しかし、日本の港湾政策が対象となった先行研究はなく、更に港湾の相対的なプレゼンスの変化状況を多面的に考察するという動機を有した先行研究も存在しない。

3. 方法論

3.1 global maritime container networkの作成

本研究では、MDS Transmodal Ltd.から入手したコンテナ船のスケジュールデータ (MDS データ) を用いる。1998 年、2006 年、2012 年、2016 年、2019 年の 5 つの断面の 8 月時点の世界の船舶スケジュールデータから global maritime container network (GMCN) を作成する。MDS データは、オペレーター、サービス名、ルート、船舶タイプ、船腹量 (TEU)、サービス頻度、寄港地等世界の各海運定期サービスの情報を含んでおり、ネットワークは国際と国内を含む世界の全てのコンテナ航路で構成されている。ただし、一部のデータは欠落しており、その場合は該当するサービスをネットワークから除外する。GMCN は、港湾と船舶の動きを表すノードとエッジによって構成されており、本研究では 1 つのサービスに含まれる全ての港湾間を無向グラフによって互いに接続させる (Tovar et al., 2015; Tocchi et al., 2022)。表-1 に作成された GMCN における各年の港湾数とサービス航路数を示す。GMCN に

含まれるノードとエッジの数は継続的に増加しており、平均船舶サイズも大きくなっている。このように、GMCNを作成する上で、船舶サイズの考慮が必要となる。

表-1 GMCN における港湾・サービス航路の数

年	港湾数	サービス 航路数	サービス 航路当たりの 平均船舶サイズ (TEU)
1998	535	1,985	1,823
2006	642	3,442	2,474
2012	726	4,082	3,548
2016	765	4,233	4,288
2019	801	4,405	4,790

MDS データでは、サービス頻度は 1 サービスに配船された全船舶の寄港頻度として定義されている。各サービスには複数の船舶が配船されている可能性があるため、1 つのサービスにおける配備船舶 1 隻あたりの実際のサービス頻度 f_s が得られるように、以下の式(1)に示す修正を行う。ここで、 $servfreq_s$ と $vessels_s$ は、それぞれ配船されている全船舶の寄港頻度とサービス s に配船されている船舶の数である。

$$f_s = \frac{servfreq_s}{vessels_s} \quad (1)$$

MDS データベースには、サービス s に含まれる 1 つの船舶の容量 $servcap_s$ が記録されている。また、GMCN では、全ての港湾の組合せの間のリンクを考慮して作成するため、ある港湾のサービス容量は $(servports_s - 1) * servcap_s$ と過大評価される。ここで、 $servports_s$ はサービス s に含まれる港湾の数である。そこで、サービス s の実際の容量を求めるために、次のような操作を行う。まず、 $servcap_s$ を 2 倍することで輸出入を考慮する。続いて、1 港の実際の船舶容量を反映させるために、 $servports_s$ で割る。なお、式(2)の $servports_s$ からは、当該港湾を除外するために 1 を差引く。その結果、港湾 i と j の間のリンクの重み w_{ij} は、式(3)で計算される。

$$cap_s = \frac{servcap_s * 2}{servports_s - 1} \quad (2)$$

$$w_{ij} = \sum_{m \in s} f_m * cap_m \quad (3)$$

s は港湾 i と j を含む全てのサービスを表す。本稿のシナリオ分析では、東京港、横浜港、川崎港は京浜港として神戸港、大阪港は阪神港として統合する。このような場合、GMCN を作成する際には、各港湾を統合港湾に置き換えてから、式(1)、(2)に示すように頻度と容量を計算する。その後、式(3)に示す重みを計算する。さらに、シナリオ分析では、GMCN の変化を想定している。例えば、釜山港での積替えが国際戦略港湾に転換した場合を想定し、日本の地方港を発着する全てのサービスについて、釜山

港 (P) を京浜港または阪神港 (I) に置き換える。この場合、 I と G の間の重み (w_{IG}) は以下のように更新される。

$$\begin{aligned} w'_{IG} &= w_{IG} + W_I \frac{w_{IG}}{\sum_{k \in G} w_{Ik}} \\ W_{Keihin} &= \sum_{l \in K} w_{Pl}, W_{Hanshin} = \sum_{l \in H} w_{Pl} \\ I &= \{京浜, 阪神\} \\ P &= 釜山 \\ G &= \begin{cases} 京浜港と接続する日本の港湾 (I = 京浜) \\ 阪神港と接続する日本の港湾 (I = 阪神) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

さらに、アジア域外港との直行航路の喪失が与える影響を検討するために、日本の港湾 (H) とアジア域外港 (F) との直行便がすべて釜山港またはシンガポール港 (T) で積み替えられる状況を想定する。この場合、 H と F の間にエッジがある場合は H と F の間にノード T を追加し、 H と F の間のリンクがサービスに含まれる場合はノード T を削除する。なお、重みは $w_{FT} = w_{TH} = w_{FH}$ とする。積替港として釜山港とシンガポール港のいずれを使用するかは、航路の総合的な距離で決定する。

3.2 中心性指標

本稿では、数種類の中心性指標を日本の港湾政策の評価に適用するが、それぞれの指標は港湾の特性について独自の視点を提供することになる。

(1) 次数及び重み付き次数中心性

次数とは、ノードが持つエッジの数である。一般に、次数中心性の指標には、in-degree と out-degree の中心性（つまり、港湾への in-flow と港湾からの out-flow）の 2 つがある。本稿では、両者の違いは MDS データでは区別できないため考慮しないこととする。港湾 x_i の次数 k_i は、式(5)で表される。

$$k_i = \sum_j^N a_{ij} \quad (5)$$

ネットワークの基本的な特性であるスケールフリー構造は、次数の確率分布 $P(k)$ を用いて表現される。ネットワークがスケールフリー性を有するのは、べき乗の次数分布 $P(k) \propto k^{-\gamma}$ を示す場合である (Boccaletti 2006)。係数 γ の値が大きくなると、ネットワーク内のハブの比率が減少し、接続の悪いノードの比率が増加する。式(5)において、 N はネットワークの港湾数、 a_{ij} は港湾 i と他の全ての港湾 j との間エリンクである。港湾 i と j が他の港湾を通らずにリンクで繋がっている場合、 a_{ij} は 1、それ以外は 0 となる。ある港湾の中心性が高いほど、他の港湾との直接接続が多いことを示す。なお、この a_{ij} は、船の容量や航行距離の違いを考慮していない。さらに、港湾 i の重み付き度数中心性 s_i は、式(6)に示すように、リンクの不均質性

を考慮した次数中心性の概念に近い。

$$s_i = \sum_j w_{ij} \quad (6)$$

式(6)において、 w_{ij} はノード*i*と*j*の間の重み付けされた次数であり、本稿では重みは年間船舶容量によって表す。なお、年間船舶容量は週頻度と船腹量を用いて算出する。船腹量と頻度はサービスごとに異なるため、重み付き次数は重要な指標となる。2つの次数中心性は、ある港湾と近隣の港湾との関係を考慮しているため、ローカルネットワークにおける中心性とみなすことができる。重み付き次数中心性が大きいほど、他の港湾との直接的な繋がりが強いことを示す。全てのリンクの重みが等しい場合、全ての重みは s_i/k_i となり、格差値は $1/k_i$ となる。いくつかのリンクがノードを支配している場合、格差値は大きくなり1に近づく (Boccaletti et al., 2006)。

(2) 近接中心性

港湾*i*の近接度中心性 c_i は、式(7)に示すように、最短経路の計算に基づく港湾*i*と他の全ての港湾*j*との間の距離の逆数である。

$$c_i = \frac{N-1}{\sum_j d(i,j)} \quad (7)$$

式(7)において、 $d(i,j)$ は、一対の港湾*i*と*j*の間の最短経路の距離を表し、以下のように算出される。

$$d(i,j) = \min \left(\frac{1}{(w_{ih})^\alpha} + \dots + \frac{1}{(w_{hj})^\alpha} \right) \quad (8)$$

α は、 $0 \leq \alpha \leq 1$ の範囲である。 α が高いほどサービス能力がより重要視されることを示すが、本稿では Wang and Cullinane (2016) や Liu et al. (2022) に従い、 $\alpha = 0.5$ とする。ここで、グラフ理論における港湾間の距離は、最短経路のリンクの数で定義され、地理的な距離は考慮されない。なお、 h はノード*i*と*j*の間の経路上に位置するノードを指す。近接中心性が高い港湾は、他の港湾に到達するためにより短いネットワーク上の距離で済む。したがって、地理的に中心に位置する港湾は、より高い近接中心性を持つ傾向がある。

(3) 媒介中心性

媒介性中心度は、ネットワークを循環するフローの影響を表し (Bergamini et al., 2018)、ネットワークにおける個々のノードの重要性を定量化する (Boccaletti et al., 2006)。具体的には、ある港湾の媒介中心性が高いほど、その港湾がネットワーク全体の他の港湾ペア間の最短経路に位置する割合が高いことを意味する。港湾*i*の媒介中心性 b_i は式(9)に示すように、当該ノードを通過する2つの港湾間の最短経路の数を、潜在的な経路数で除した値

で表される。

$$b_i = \frac{1}{(N-1)(N-2)} \sum_{j,h} \frac{\{\sigma_{jh}(i)\}^\alpha}{(\sigma_{jh})^\alpha} \quad (9)$$

式(9)において、 $\sigma_{jh}(i)$ はネットワーク全体における港湾*i*を経由する港湾*j*と*h*の最短経路の数である。近接中心性と同様に、 $\alpha = 0.5$ とする。媒介中心性が高い港湾は、港湾ペア間の橋渡し役となるため、ネットワーク上で重要な位置にある港湾と判断される。

(4) 固有ベクトル中心性

固有ベクトル中心性は、隣接する港湾の重要性を考慮した上で当該港湾の重要性を示す指標である。高スコアの港湾への接続は、低スコアの港湾への接続と比較して、港湾のスコアに大きく貢献するという考え方に基づいて、GMCN 内のすべての港湾に相対的なスコアが割り当てられる。固有ベクトル中心性が高いことは、その港湾が高いスコアを持つ多くの港湾に接続されていることを意味する。 n 個のノードの次数中心性の初期ベクトルを $\mathbf{x}(0)$ 、ネットワークの隣接行列を $\mathbf{A}$ とし、次数中心性ベクトル $\mathbf{x}(1) = \mathbf{Ax}(0)/\|\mathbf{Ax}(0)\|$ とする。これを繰り返すと収束値ベクトルが得られ、これが隣接行列 $\mathbf{A}$ の最大の固有値 λ に対し、 $\mathbf{Ax} = \lambda\mathbf{x}$ を満たす $\mathbf{x}$ として、各ノードの固有ベクトル中心性のベクトルとなる。固有値は $\det[\mathbf{A} - \lambda\mathbf{E}] = 0$ の解として得られ、 n 次元ベクトル $\mathbf{x}$ の*i*番目の成分がノード*i*の固有ベクトル中心性である。

4. 日本のコンテナ港湾政策

本稿では日本のコンテナ港湾政策について考察するため、日本の港湾改革の契機となった港湾政策について概観する必要がある。具体的には、中枢・中核国際港湾指定を含む港湾長期政策（中枢中核）、スーパー中枢港湾（スパ中）政策、国際コンテナ戦略港湾（戦略港湾）政策であり、経緯は以下の通りである。1990年にはオーバーパナマックス船が配船され、アジア各国がその変化に素早く対応する中、日本はそれに失敗したとされ (Inoue, 2018)、日本のコンテナ港湾の国際競争力の低下が指摘されるようになった (Sugimura et al., 2022)。こうしたことを受け、1995年に長期政策「大交流時代を支える港湾」において三大湾及び北部九州を中枢国際港湾、その他8港を中核国際港湾として指定し、政策的にコンテナ港湾の全国配置と役割が決定された。しかし、地方の港湾管理者は内航フィーダー輸送よりも釜山港等への外航航路を志向したことから、中枢港湾への貨物の集約は進まなかった。このため、日本のコンテナ港湾の国際競争力の低下は進

み、2001年にはスパ中政策が提唱される。これは、基幹航路の日本への寄港頻度の減少を背景に、アジアの主要港を凌ぐ港湾コストやサービスの実現のため、メガ・ターミナルとそれを一社で運営するオペレーターの育成を目指したものである。公募を経て、2004年には京浜港、伊勢湾、阪神港がスパ中港湾として指定され、メガ・ターミナル・オペレーターが設立されたものの、目標としたレベルの一体運営はほぼ実現しなかった。スパ中政策の結果を踏まえ投資すべき港湾の更なる絞り込みを行うべく、2009年には戦略港湾政策が開始される。日本への基幹航路の維持・拡充と釜山港等でのトランシップの国内

港への奪還が目標に掲げられ、民の視点を有する港湾運営会社による戦略的一体運営が目指された。公募の結果、京浜港、阪神港が選定され、2011年には港湾法の改正により最上位の港格として国際戦略港湾が規定された。各政策の背景、目標、結果を表-2に示す。

これらの政策は、基幹航路の寄港回数の減少や海外港湾におけるトランシップ率の増加を指標として、アジアにおける港湾競争力の低下が背景としている点で一貫しており、政策の変遷を経て日本におけるハブ港湾が4港、3港、2港と絞り込まれてきた。しかし、貨物の集約、基幹航路の寄港回数といった観点では、中枢中核やスパ中

表-2 各政策の背景、目標、結果

政策	内容	結果
中枢中核	【背景】 - 超大型船に対応した高規格のコンテナターミナルの不足や国際的に比較して立ち遅れた港湾サービス等のため日本の港湾は相対的な地位が低下 【目標】 - 三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）と北部九州の4地域の中枢国際港湾において、高規格なコンテナターミナル群の形成を図り、世界に巡らされた航路網と高頻度の寄港サービスが提供される国際ハブ港湾としての機能の強化	中枢国際港湾と中核国際港湾と合わせれば国際海上コンテナ輸送の約95%を担う効率的な物流ネットワークを形成
スパ中	【背景】 - 海外の収益重視型の大規模コンテナターミナルとの競争の激化やコンテナ市場としての日本の相対的地位の低下等によって、基幹航路の日本への寄港頻度の減少 - 内陸輸送網や内航海運網による中枢・中核国際港湾への国内フィーダー輸送と地域の港湾を活用した釜山等の海外港湾への直送又は国際フィーダー輸送が競合 【目標】 - 日本を代表するコンテナゲートウェイ港湾や国際・国内コンテナ中継港湾として、国際的な競争力を有するコンテナターミナルを政策的に育成 - 港湾コストの約3割低減、リードタイムの1日程度への短縮の実現による基幹航路の維持	- コストは2割弱の低減、リードタイムも1日を達成 - 基幹航路寄港回数は、東京港は微減、横浜港は横ばい、名古屋港、大阪港は微減、神戸港は減少（2000-2008年） - 海外トランシップ率は上昇傾向ではあるものの、政策開始前に比べ減速（1998-2003年で約10%上昇から、2003-2008年で約2.4%の上昇）
戦略港湾	【背景】 - 東アジアにおけるコンテナ港湾間競争の激化と相俟って、基幹航路のコンテナ船の日本への就航の喪失の可能性 - 日本から釜山港に国際トランシップされる貨物が増加※ 【目標】 2015年 - 国際コンテナ戦略港湾に寄港する欧州基幹航路を週3便に増加北米基幹航路のデ일리寄港を維持・拡大 - アフリカ、南米、中東・インドといった現状で我が国への寄港が少ない航路を誘致 - アジア向けも含む日本全体の発着貨物の釜山等東アジア主要港でのトランシップ率を現行の半分に縮減 2020年 - 国際コンテナ戦略港湾において、多方面・多頻度の直航サービスを充実 - アジア発着貨物の国際コンテナ戦略港湾におけるトランシップを促進	内航フィーダー航路 京浜港 39便/週（2016年3月） →51便/週（2020年1月） 阪神港 68便/週（2014年4月） →95便/週（2019年10月） 基幹航路 京浜港 53便/週（2010年11月） →33便/週（2019年11月） 阪神港 22便/週（2010年11月） →14便/週（2019年11月）

出典：スーパー中枢港湾政策の総括と国際コンテナ戦略港湾の目指すべき姿（2010）、わが国経済の活性化に向けたスーパー中枢港湾のあり方（2002）、「フォローアップ（注）」で掲げられた政策目標への取組状況（2020）、港湾・海運を取り巻く近年の状況と変化（2020）を参考に筆者ら作成

政策では十分な結果が出ておらず、戦略港湾政策下でも基幹航路において日本の直航便を利用する割合が下落してきている。

5. 分析結果

まず、世界の海上コンテナ輸送ネットワークにおける日本の港湾の位置付けの変化を視覚的に捉えるために、次数 50 以上の港湾間により構成されるネットワークを付録-1 に示す。赤線で示されるリンクは次の年次で消失するリンクである。

前章で示した方法を用いて、全世界の海上コンテナ輸送ネットワークの中心性指標の算定結果として、アジアの主要港と日本の京浜港、阪神港の順位の変化を図-1 に示す。各年次の上位 20 港は付録-2 に示す。なお、2011 年の港湾法改正により、東京港、川崎港、横浜港が京浜港に、大阪港、神戸港が阪神港となったが、それ以前の断面でも京浜港、阪神港として統合して整理している。

次数中心性については、シンガポール、釜山が安定的に上位に、上海は 2006 年には急激に順位を上げて以降は上位に位置し、ポートケランも上昇傾向、香港と高雄は下降傾向にある。日本の京浜港、阪神港は 2016 年までは大幅にランクを落としていたものの、2019 年では京浜港

が微減、阪神港が横ばいとなっている。固有ベクトル中心性は、次数中心性と似た傾向にあるが、2019 年での日本の両港の回復傾向がより顕著に表れている。媒介中心性については、シンガポール、釜山が安定的に上位に、上海は 2006 年には急激に順位を上げて以降は上位に位置し、香港が下降傾向、日本が大幅にランクを落としていることは同様であるが、ポートケランと高雄の変動が激しくなっている。近接中心性は次数、固有ベクトル中心性と概ね似た傾向にあるが、2019 年に京浜港の順位が上昇傾向にあることが異なる。以上のように、シンガポール、釜山、上海などアジアの主要港が、世界の海上コンテナ輸送ネットワークにおいても安定的に上位の中心性指標を示す中、日本の京浜港、阪神港は 1998 年の時点では各中心性指標の順位から見てもアジアの主要港と同等のプレゼンスを保っていたと言えるが、2000 年代に入って以降は、各中心性指標の順位を落としていることが大きな傾向である。異なる中心性指標は互いに正の相関を持つものの (Kawasaki et al., 2019)、中心性指標は次数よりも大きく変動する傾向にあり、例えば貨物取扱量が大きいにも関わらず相対的に低いレベルの中心性を示す港湾が存在することが指摘されている (González Laxe et al., 2012)。各中心性指標の変動の要因を検証するため、京浜港、阪神港の貨物取扱量の順位と中心性指標の順位の変

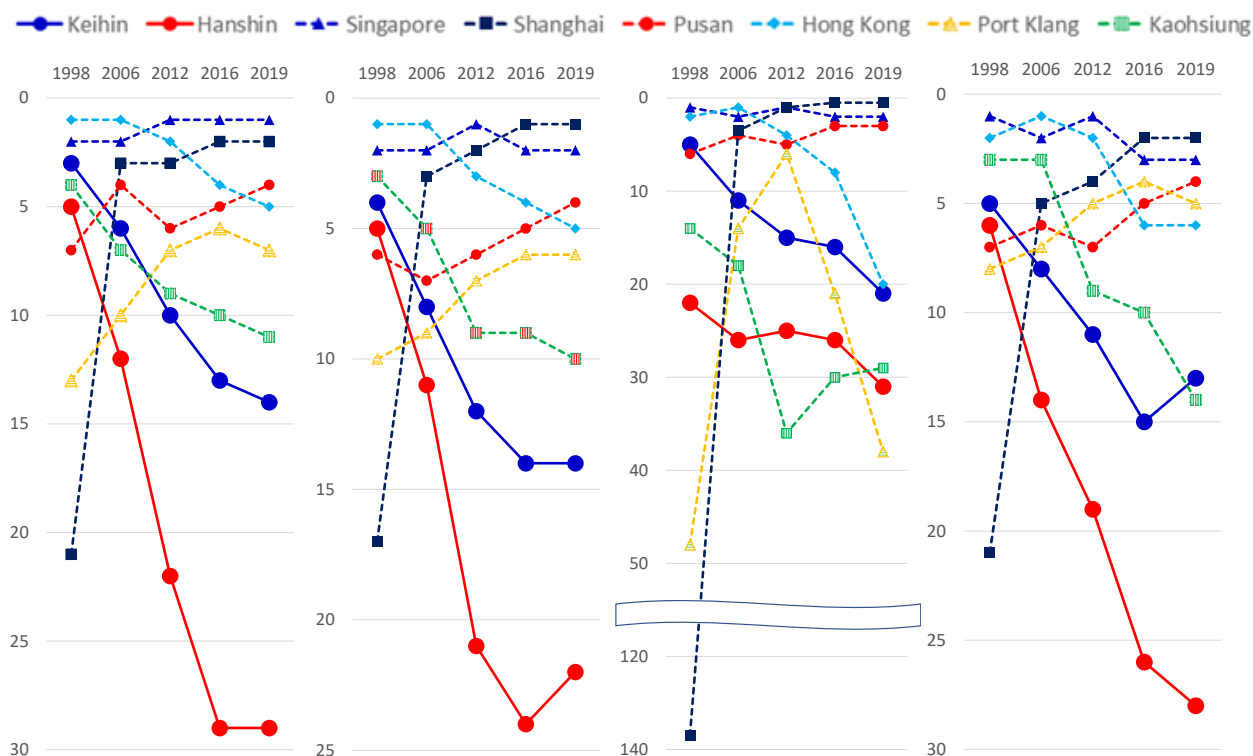


図-1 アジアの主要港と京浜港、阪神港の順位の変化（左から、次数、固有ベクトル、媒介、近接中心性）

動の比較を図-2に、全体、内航、欧州との間、北米との間についてのリンクの次数及び重み、次数中心性の高い港湾とのリンクの重みの割合を表-3に示す。

次数中心性は、次数の減少により順位を落とし、特に阪神港ではそれが顕著である。ただし、2016年から2019年にかけては、京浜港は中国港湾の躍進により順位を一つ落としているものの次数は横這い、阪神港は次数を減らしながらも重みは増加傾向にあるため、順位は横這いとなっている。固有ベクトル中心性は、両港とも2012年以降が概ね横ばい傾向になっており、次数中心性の高い港湾とのリンクの重みが増加していることが原因と考えられる。媒介中心性は、両港とも2006年までは低下、2006年から2016年までは横這いもしくは微減し、2019年にかけて再び低下している。これは両港の内航リンクの重

みの割合の増減に近い動きをしている。近接中心性は、両港とも2016年までは大きく低下、阪神港は2019年も低下しているが、京浜港は2019年に順位を上げている。ただし、京浜港は国内港湾とのリンクを増やして順位を上げている訳ではなく、海外主要港とのリンクを強化した結果と考えられる。

各中心性指標は、システム内で各港湾がどのような競争上の地位を占めているかを明らかにし、多角的な視点を提供するものである (Wang and Cullinane, 2016)。実際、貨物取扱量の順位と比較すれば、中心指標の多くは各年次でより上位に位置している。政策で掲げていた欧州・北米基幹航路は次数、重みともに減少しており、また内航リンクの次数や重みが増加している訳ではないため、政策自体が直接的に貢献してこうした結果に繋がってい

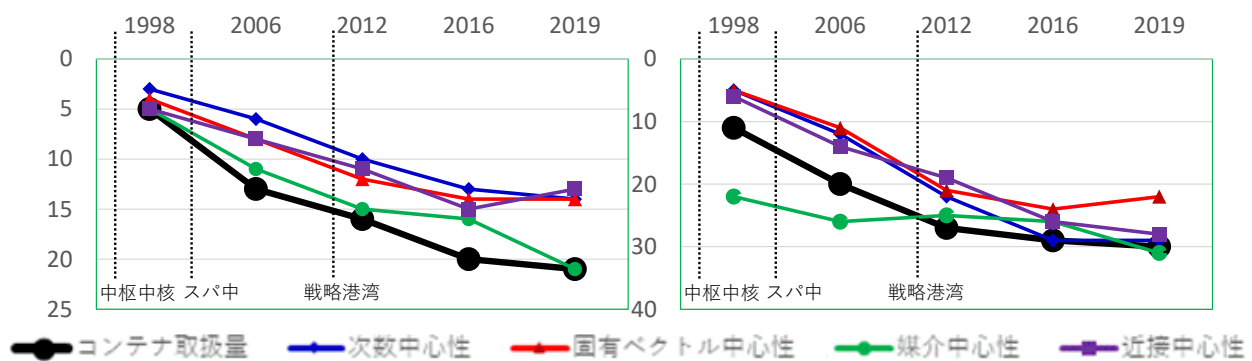


図-2 コンテナ取扱量と各中心性指数のランキング（左：京浜，右：阪神）

表-3 京浜及び阪神港の次数及びリンク重み、次数中心性の高い港湾とのリンクの重みの割合の変化

			1998	2006	2012	2016	2019
次数	合計	京浜	164	150	126	133	133
		阪神	160	131	112	118	95
	国内リンク (割合)	京浜	17 (10.4%)	16 (10.7%)	16 (12.7%)	17 (12.8%)	17 (12.8%)
		阪神	17 (10.6%)	25 (19.1%)	18 (16.1%)	23 (19.5%)	18 (18.9%)
	欧州リンク (割合)	京浜	21 (12.8%)	17 (11.3%)	13 (10.3%)	7 (5.3%)	6 (4.5%)
		阪神	21 (13.1%)	16 (12.2%)	13 (11.6%)	6 (5.1%)	4 (4.2%)
リンクの 重み	北米リンク (割合)	京浜	17 (10.4%)	14 (9.3%)	17 (13.5%)	15 (11.3%)	14 (10.5%)
		阪神	16 (10.0%)	12 (9.2%)	15 (13.4%)	13 (11.0%)	10 (10.5%)
	合計	京浜	25,945,764	38,436,130	40,039,519	42,438,567	45,421,559
		阪神	22,525,810	23,742,295	23,420,851	24,939,869	25,059,984
	内航リンク (割合)	京浜	6,029,453 (23.2%)	7,878,053 (20.5%)	8,783,100 (21.9%)	10,247,193 (24.1%)	9,602,451 (21.1%)
		阪神	5,420,510 (24.1%)	6,263,063 (26.4%)	6,863,314 (29.3%)	7,526,042 (30.2%)	7,134,685 (28.5%)
リンクの 重み	欧州リンク (割合)	京浜	2,270,191 (8.7%)	2,123,361 (5.5%)	940,472 (2.3%)	808,106 (1.9%)	1,006,653 (2.2%)
		阪神	2,323,318 (10.3%)	2,081,115 (8.8%)	940,472 (4.0%)	394,471 (1.6%)	491,841 (2.0%)
	北米リンク (割合)	京浜	4,319,906 (16.6%)	5,343,989 (13.9%)	4,781,650 (11.9%)	3,701,855 (8.7%)	3,634,812 (8.0%)
		阪神	3,710,903 (16.5%)	2,848,130 (12.0%)	1,919,845 (8.2%)	1,566,691 (6.3%)	1,645,263 (6.6%)
次数中心性上位 10 港とのリンクの割合	京浜		36.0%	33.2%	21.0%	23.0%	35.1%
	阪神		35.6%	32.3%	32.2%	33.9%	34.6%

るとは言い難い。むしろ、アジア主要港のネットワークにおける重要性の高まりとアジア主要港へのリンクの強化が相まって、結果的には貨物取扱量の順位の低下ほど、京浜港と阪神港はネットワークにおけるプレゼンスの低下にはつながらなかったと言え、さらに、他国の経済成長に伴い、日本全体として貨物取扱量で相対的に順位を落とし、ネットワークにおけるプレゼンスを大幅に低下させ続ける可能性があった中、政策が両港の奮起を促した結果との見方はできる。実際、十分な岸壁水深・延長、ヤード容量を持つ国際競争力のあるコンテナターミナルの整備、ターミナルへの最先端 IT システムの導入、利用荷主・船社へのインセンティブとしての補助金導入、ロジスティクスハブ機能の強化等の政策によって、両港は活性化されている。

6. 考察

前章の結果が示す通り、港湾政策を講じその対象であった京浜港、阪神港はいずれの中心性指標の順位も大幅な減少傾向にあり、そのプレゼンスを低下させていると言わざるを得ない。一方で、他国の経済成長に伴い貨物取扱量で相対的に順位を落とす中、中心性指標の順位は貨物取扱量の順位より高い傾向にあり、特に近年では横ばい、又は上昇している指標もあり、こうしたことには政策が貢献しているとも考えられる。荷主が積み替えやネットワークの接続性を配慮しない場合もあることを踏まえつつ、本章では、政策の目標設定の妥当性、政策の維持が困難となった場合の対応の可能性について、中心性指標の観点から考察する。考察には、以下のシナリオに基づいて計算する中心性指標を用いる。

シナリオ 1：京浜港、阪神港以外の日本の港湾と釜山港とのリンクを京浜港又は阪神港（距離的に近いほう）に付け替えた場合であり、日本の地方港湾のトランシップ先を釜山港から京浜港、阪神港に変更した場合を想定したシナリオ。付け替えたリンクの重みは既存リンクの重みに応じて各既存リンクに配分するため、現状の基幹航路のリンクの重みも増えることになる。

シナリオ 2：京浜港、阪神港からアジア以遠の港湾への直行リンクをシンガポール又は釜山トランシップに変更した場合を想定したシナリオ。京浜港、阪神港からアジア以遠の港湾へのリンクがなくなり、シンガポール、釜山へのリンクの重みが増えることになる。

シナリオ 3：シナリオ 1 とシナリオ 2 の組合せであり、日本の地方港湾のトランシップ先を釜山港から京浜港、阪神港に変更したうえで、京浜港、阪神港からアジア以遠の港湾への直行リンクをシンガポール又は釜山トランシップに変更した場合を想定したシナリオ。

結果を表-4 に示す。シナリオ 1 では、固有ベクトル中心性を除いて現状よりも順位を上げ、特に媒介中心性では順位を大きく上げる結果となっている。このシナリオでは京浜港、阪神港と外国港湾との間のリンク数が増加している訳ではないものの、国内港湾とのリンクが増加し、トランシップ機能を有することになるので、媒介中心性への影響が大きい。シナリオ 2 では、各指標とも順位を上げ、特に近接中心性で順位を大きく上げている。既存のリンク先よりも中心性の高いトランシップ港でシンガポール港、釜山港とのつながりが増強されることで、他の港湾とのネットワーク上の距離が短縮されたことによる。

これまでの日本の港湾政策は京浜港や阪神港でのネットワークの充実や国内トランシップ機能を有することを目指して掲げられてきたが、これは次数中心性と媒介中心性を高めることを意図した政策であったと言える。シナリオ 1 は外国港湾へのリンク数の増加を盛り込んでいない点を除けば、戦略港湾政策が実現した仮想ネットワークにおける中心性指標の変化を表している。港湾改革を経ても、地方自治体が港湾管理を担っているとの日本の港湾ガバナンスの大きな特徴に変化はなく、中央政府が全体最適の観点から国家戦略を策定しても、港湾管理者が地域利益を優先するため実効性が伴わないことが港湾ガバナンスに起因する課題であると言われている (Sugimura et al., 2022)。実際、港湾政策上は大港湾において次数中心性や媒介中心性の維持、向上を目指すことが目指されていたが、地方港湾は固有ベクトル中心性を向

表-4 現状と 3 つのシナリオに対する中心性指標

	次数中心性		固有ベクトル中心性		媒介中心性		近接中心性	
	京浜	阪神	京浜	阪神	京浜	阪神	京浜	阪神
現状 (2019 年)	14	29	13	21	21	31	13	28
シナリオ 1	12 (+2)	21 (+8)	14 (-1)	21 (0)	6 (+15)	8 (+23)	11 (+2)	25 (+3)
シナリオ 2	14 (0)	28 (+1)	10 (+3)	18 (+3)	18 (+3)	30 (+1)	6 (+7)	14 (+14)
シナリオ 3	12 (+2)	21 (+8)	10 (+3)	17 (+4)	6 (+15)	5 (+26)	6 (+7)	13 (+15)

上させることを目指し、外国航路を持ちたいという希望から、そのリンク先として釜山港等を選択してきた。この点で、国内で整合の取れた施策展開が行われて来ず、京浜港、阪神港への貨物の集中が進まなかった。戦略港湾政策においては、国からの要請の下、地方港湾における外国航路と京浜・阪神港への国際フィードバック航路へのインセンティブ措置のイコルフットイングが進んだこともあり、中心性指標の低下傾向が緩和しているが、シナリオ1の結果から、政策目標が十分に達成されれば、京浜港や阪神港のプレゼンスは更に向上することになる。このことは、政策目標の妥当性と港湾ガバナンス上の課題解決の有効性を示唆する。

しかし、京浜港、阪神港への基幹航路の寄港回数の減少傾向は続いており、このまま政策目標が達成されなければ、基幹航路消滅の可能性も否定できない。仮に消滅した場合においても、シナリオ2の結果が示す通り、アジアのトランシップ港湾へのリンクを強化することで、中心性指標を維持、上昇させることができる。これは、欧米を始め多方面航路の充実を目指してきたこれまでの政策からの変化となる。更に、シナリオ3の結果が示す通り、京浜・阪神港が国内トランシップ機能を有することで中心性指標は一層上昇する。

一方、先行研究で明らかにされている通り、海上コンテナ輸送ネットワークは特定のノードの機能停止に対して脆弱であるというリスクを抱えている。特に、国のコ

ンテナ港湾政策と乖離して地方港湾が外国港湾とのリンクを志向することは、政治的なリスク、テロ、自然災害等により依存する港湾が機能不全に陥れば、多大な影響を受けることになる。例えば、2003年5月と8月の長期労働ストライキと9月の台風被害によって釜山の港湾機能が致命的な影響を受けた際、多くの外国船社が釜山港からの撤退を検討した。さらに、2020年以降中国のZERO-COVID政策により、大連、塩田、寧波港等で出入国が停止されることになった。このため、各シナリオの評価のためにはネットワーク構造上のリスクも合わせて考慮する必要がある。表-5に示す通り、特に日本の港湾は釜山と上海へのリンク先としての依存度を高めており、こうした港湾の機能停止時に国全体として大きく影響を受ける可能性がある。表-6には、GMCNにおいて香港、釜山、上海、シンガポール港が機能停止した場合に日本、韓国、中国のそれぞれの港湾全体の中心性指標の順位の変化を示す。ただし、媒介中心性については多くの港湾が0であるので本考察からは省いている。

表-6が示す通り、日本の港湾は全体として釜山港の機能停止に対して極めて脆弱であることが分かる。中心性指標の順位の変化は韓国よりも大きく、特に固有ベクトル及び近接中心性の順位は著しく低下し、年々その程度は大きくなっている。上海港の機能停止に対しても日本全体として固有ベクトル中心性の順位を大きく落とすが、近接中心性にはそれほど影響しない。これは、日本の

表-5 日本の港湾が依存するリンク先港湾

順位	1998 年		2006 年		2012 年		2016 年		2019 年	
1	Hong Kong	12.87	Hong Kong	10.01	Hong Kong	10.94	Hong Kong	9.61	Pusan	10.21
2	Kaohsiung	9.06	Shanghai	7.57	Pusan	8.84	Pusan	8.67	Shanghai	8.91
3	Singapore	7.57	Pusan	6.44	Shanghai	8.34	Shanghai	8.5	Hong Kong	8.06
4	Pusan	5.55	Singapore	4.65	Singapore	4.41	Kaohsiung	5.05	Kaohsiung	5.16
5	Keelung	3.91	Kaohsiung	4.1	Kaohsiung	3.59	Ningbo	4.58	Singapore	5.08

表-6 GMCN で各ノードが機能停止した場合の中心性指標の順位の変化（各国全港湾の平均値）

	機能停止	次数中心性					固有ベクトル中心性					近接中心性				
		1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019
日本	Hong Kong	-1.6	+0.1	+0.7	+0.5	+0.7	-7.6	+0.4	-2.1	-2.0	-0.9	+0.4	+1.9	+0.6	+1.5	+1.0
	Pusan	-10.3	-15.2	-19.1	-19.3	-21.0	-25.9	-61.2	-78.7	-77.1	-96.1	-29.0	-62.1	-64.7	-68.0	-90.7
	Shanghai	-0.3	-2.5	-2.6	-3.5	-3.2	+0.2	-9.5	-16.7	-16.6	-18.3	+0.9	+0.3	+1.1	-0.7	-3.8
	Singapore	+6.0	+3.4	+3.2	+2.7	+2.4	+19.4	+15.7	+14.6	+11.3	+10.0	+11.5	+8.5	+9.2	+8.3	+8.8
韓国	Hong Kong	-8.5	-2.7	-3.7	-3.7	-8.0	-9.3	-8.2	-7.8	-3.4	-6.1	-7.3	-1.0	-0.7	+2.1	+1.2
	Pusan	-15.7	-9.0	-22.3	-10.7	-10.9	-5.0	-7.6	-33.8	-28.1	-14.6	-6.0	-7.9	-39.9	-21.0	-20.7
	Shanghai	+1.0	-6.4	-5.5	-3.5	-6.0	+0.8	-29.9	-10.8	-4.8	-6.9	+0.8	-15.7	-0.6	-4.4	-8.4
	Singapore	-2.8	+1.6	+2.5	+0.1	+2.3	+3.8	+4.2	+11.9	+7.1	+8.7	+8.3	+5.7	+11.8	+8.5	+9.9
中国	Hong Kong	-15.0	-7.8	-4.0	-5.2	-0.4	-57.5	-30.8	-16.6	-21.2	-3.6	-53.2	-21.5	-9.1	-7.3	-1.5
	Pusan	-2.9	-0.5	+0.8	+1.7	+1.2	-2.4	+0.6	-1.0	+2.3	+3.5	+3.1	+4.2	+3.2	+6.7	+5.3
	Shanghai	-2.2	+0.3	-3.2	-2.9	-1.0	-0.2	-0.2	-10.9	-11.1	-4.3	+1.0	+1.1	-7.3	-1.3	-2.1
	Singapore	+3.5	+2.7	+2.5	+2.7	+2.8	+13.5	+12.4	+10.6	+7.2	+10.4	+11.4	+8.1	+7.5	+8.1	+11.3

港湾がリンク先としての上海港への依存度を高め、GMCN における上海港の重要度の上昇しているものの、上海港を介して最短距離で各ノードと連結している訳ではないことに起因する。なお、中国も 2006 年までは香港の機能停止に対して同様に脆弱であったが、逆に近年では改善してきている。表-7 にはシナリオ 1 のネットワークで釜山港が機能停止した場合、シナリオ 2,3 で釜山港及びシンガポール港が機能停止した場合の京浜・阪神港及び日本の港湾平均の中心性指標の順位の低下を示す。シナリオ 1 では釜山港の機能停止に対するリスクはなくなる。シナリオ 2 では、機能停止前のネットワークでは中心性指標では京浜・阪神が順位を上げていたが、日本全体としての釜山港の機能停止に対するリスクは逆に高まる結果となる。また、シンガポール港の機能停止に対しては、世界の他港と比較して想定的に影響を受けないため、むしろ順位を上げる結果となっている。シナリオ 3 では、釜山港機能停止時には京浜・阪神が中心性指標の順位を落とすとはいえ、日本全体として見れば、現状やシナリオ 2 と比較してリスクはかなり小さくなっている。シナリオ 2 でも機能停止前の中心性指標を観察すればネットワーク上のプレゼンスを確保できるものの、自らコントロールできない海外港湾に大きく依存したネットワークを志向することには一定のリスクが伴うことが分かる。これまで一貫してコンテナ港湾政策の対象であった京浜・阪神港は中心性指標を落としてきたが、地方港湾から両港への接続がないことがその理由の大きな要因であり、更にこのことは釜山港の機能停止という自らコントロールできないリスクに対して日本全体として脆弱であるという課題に繋がっている。京浜・阪神で基幹航路の維持が困難になった場合でも、アジア域内のハブ港湾とのリンクを強化することで両港の GMCN でのプレゼンスの維持は可能であるが、シナリオ 2 と 3 の差が示す通り、両港が国内でのハブ機能を有することで釜山港の

機能停止時のリスクが小さくなる。すなわち、中心性指標に加え、ネットワーク構造上の脆弱性を考慮すれば、シナリオ 1,3,2 の順に望ましいと言える。

戦略港湾政策による京浜・阪神港と国内他港との接続強化は、京浜・阪神港の GMCN でのプレゼンスの維持・向上に資するだけでなく、日本全体のネットワーク構造上の脆弱性への対応にもなる。また、京浜・阪神で基幹航路の維持が困難になることを想定した政策転換に対しても、国内港湾がある程度の中心性を有する京浜・阪神港へ接続することは、海外港湾への依存度の高さから生じるネットワーク構造上の課題の観点から望ましい。ただし、このためには港湾ガバナンス上の課題の解決が前提となり個別港湾で対応できるものではないため、政府のイニシアチブが重要となるが、近年では、世界的にも中央政府への再集権化の流れも出てきており、日本全体として戦略港湾の活性化に取り組む体制が構築できれば、課題解決の可能性はある。

7. 結論

1990 年代以降、日本のコンテナ港湾の国際競争力の低下が指摘され、日本政府は港湾改革を行ってきたが、少なくともコンテナ貨物取扱量の観点からは日本の港湾のプレゼンスの低下は現在まで続いている。このため、先行研究においても日本の港湾政策に対して批判的な言及が散見されるが、アジアにおいて中国を始めとする他国が経済成長を遂げる中、相対的な港湾取扱量のシェアが落ちるのは当然とも言え、取扱貨物量のみから日本の港湾政策や港湾の国際的なプレゼンスを評価することは適切ではない。そのため、本稿では政策の対象となっている京浜港と阪神港の海上コンテナ輸送ネットワークにおける中心性指標から日本の港湾政策の考察を試みた。

アジアの主要港が、世界の海上コンテナ輸送ネットワ

表-7 釜山・シンガポール港が機能停止した場合の京浜・阪神港及び日本の港湾全体中心性指標の順位の低下

	機能停止		次数中心性					固有ベクトル中心性					近接中心性				
			1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019
シナリオ 1	Pusan	京浜	0	0	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	0	0	+1	+2	+1
		阪神	0	+1	0	0	+1	0	+1	0	-1	+1	0	+1	+1	+2	+2
		全体	+1.6	+2.1	+2.1	+1.6	+2.1	+1.6	+1.0	-0.6	+0.0	+0.5	+1.4	+1.9	+2.3	+3.7	+3.8
シナリオ 2	Pusan	京浜	-1	-3	-6	-5	-5	0	-3	-3	-4	-3	0	-3	-3	-6	-6
		阪神	0	-1	-4	-4	-4	+1	0	-8	-4	-3	0	-2	-6	-9	-11
		全体	-9.9	-15.1	-19.0	-19.3	-20.6	-41.0	-76.9	-87.4	-84.6	-100.7	-26.9	-63.1	-66.9	-72.3	-90.9
	Singapore	京浜	0	-1	+2	0	+1	+1	+1	+2	+1	+3	+1	+1	+2	+2	+2
		阪神	+1	0	0	+1	+1	+1	+1	+3	+7	+3	+1	-1	+1	+3	+2
		全体	6.0	+3.4	+3.2	+2.6	+2.3	+28.8	+21.8	+19.8	+13.5	+13.5	+12.9	+7.5	+10.1	+7.9	+9.1
シナリオ 3	Pusan	京浜	-1	-3	-1	-5	-4	0	-2	-2	-4	-3	0	-2	-3	-5	-4
		阪神	0	0	-3	-4	-5	+1	0	-1	-4	-3	+1	-1	-5	-9	-9
		全体	+2.2	+2.2	+2.2	+1.5	+2.7	-3.0	-9.9	-10.3	-10.4	-9.2	+4.9	+3.0	-0.6	-6.8	-4.0
	Singapore	京浜	0	0	+1	+1	+1	+1	+1	+2	+3	+4	-1	+2	+1	+1	+2
		阪神	+1	+1	0	0	+1	+1	+1	+2	+3	+2	+1	-1	+1	+1	+2
		全体	+6.1	+3.4	+3.2	+2.6	+2.5	+25.6	+16.8	+16.5	+12.3	+12.8	+12.4	+6.5	+10.2	+7.4	+10.1

ークにおいても安定的に上位の中心性指標を示す中、日本の京浜港、阪神港は1998年の時点では、各中心性指標の順位から見てもアジアの主要港と同等のプレゼンスを保っていたが、2000年代に入って以降は、各中心性指標の順位を落としている。しかし、貨物取扱量の順位と比較すれば、中心指標の多くは各年次でより上位に位置している。アジア主要港のネットワークにおける重要性の高まりとアジア主要港へのリンクの強化が相まって、結果的には貨物取扱量の順位の低下ほど、京浜港と阪神港はネットワークにおけるプレゼンスの低下にはつながらなかった。政策の実施が両港の港湾機能を活性化させたことが貢献しているとの見方はできる。

また、政策の目標設定の妥当性、政策の維持が困難となった場合の対応の可能性について、3つのシナリオ分析により検証した結果、国内ハブ機能の強化という政策目標が十分に達成されれば、京浜港や阪神港のプレゼンスは更に向上することになることに加え、将来的にアジア域内ハブ港湾への依存という政策に転換をせざるを得ない場合においても、ネットワーク上のプレゼンスを確保できることが確認されたが、後者については海外港湾への依存リスクへの対応の課題が伴う。特に、日本の港湾は全体として釜山港への依存度が高く、このためネットワーク構造上釜山港の機能停止に対して極めて脆弱であり、アジア域内ハブ港湾への依存という政策転換だけではむしろこの脆弱性は大きくなることが明らかとなった。この課題を解消するためには、少なくとも、京浜・阪神港に国内ハブ機能を大幅に強化することが必要となる。すなわち、中心性指標に加え、ネットワーク構造上の脆弱性を考慮すれば、現在の日本のコンテナ港湾政策は妥当なものであると評価できる。ただし、日本の港湾ガバナンスに起因してその徹底が難しい状況にあり、如何に日本全体として本稿で示したシナリオ1（将来的に基幹航路の維持が難しくなった場合の3を含む）の実現を図るのが今後の日本のコンテナ港湾政策展開の大きな方向性となるかもしれない。

本稿では、港湾容量の増加、船社アライアンスの変化による航路再編、ターミナル運営者の変化といった環境変化が中心性指標に及ぼした影響を詳細に分析している訳ではなく、また外国港湾へのハブ機能の依存リスクを中心性指標の順位の低下で評価しており、定量的な指標を用いている訳ではない。日本の港湾政策の考察をより精緻に行い、また政策提言を行うためには、こうした分析が今後の研究の方向性として考えられる。また、本稿では日本の港湾政策がケーススタディとなっているが、各国の港湾政策や港湾ガバナンスの変化に伴うその国の

港湾の重要性の変化をネットワーク分析により考察する研究の蓄積は、望ましい港湾政策や港湾ガバナンスの検討に貢献するものと考えられる。

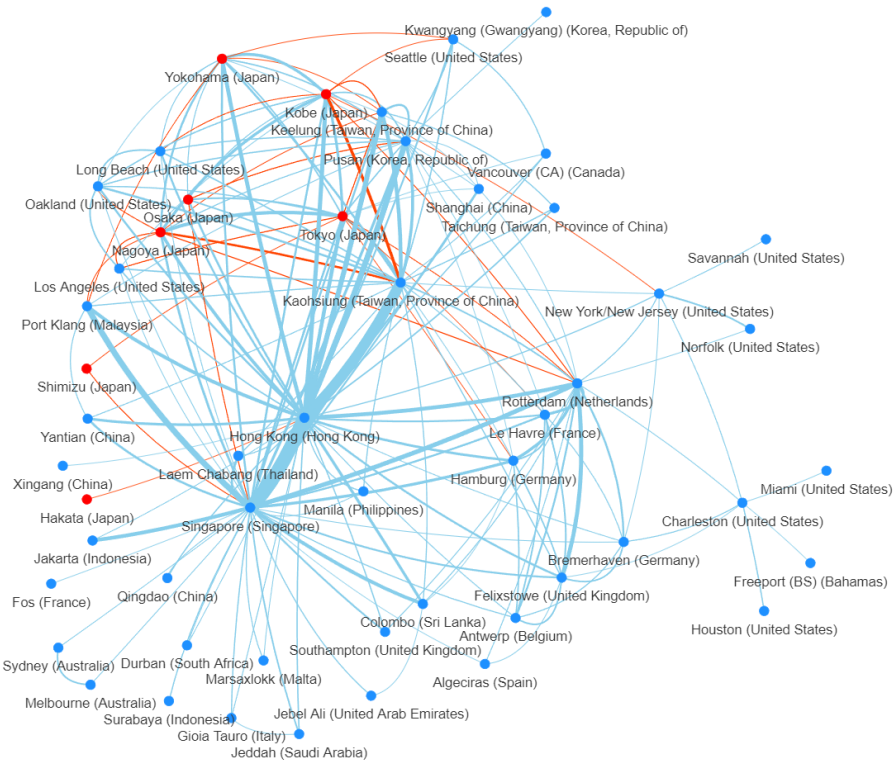
(2023年5月31日受付)

参考文献

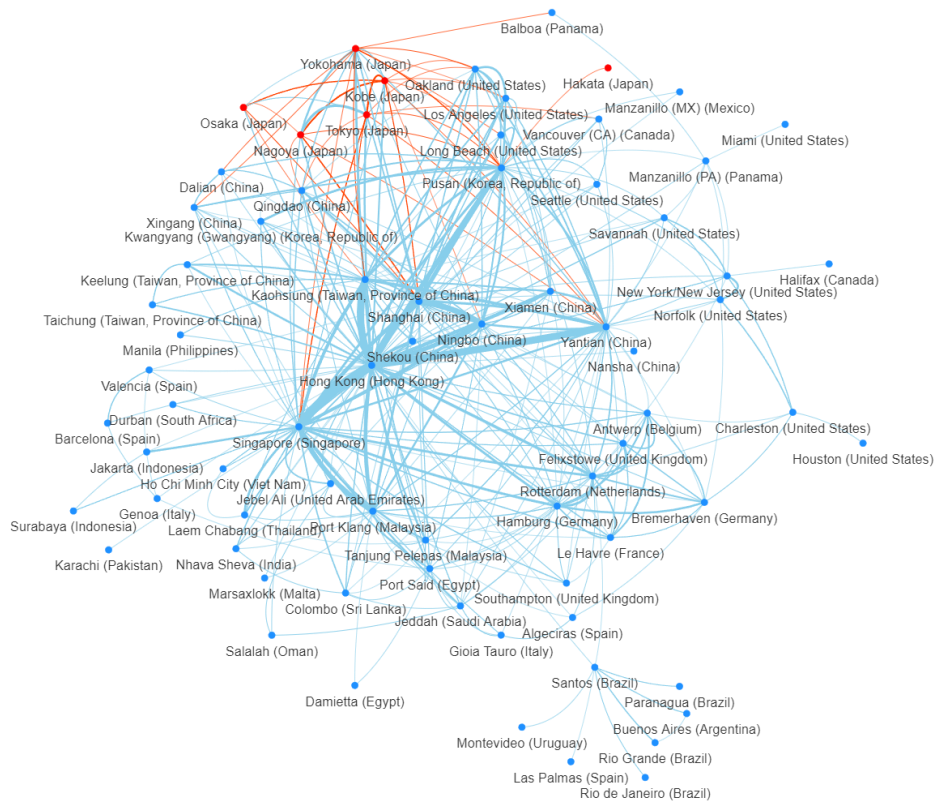
- 1) Akakura, Y., Sasaki, T., 2021. Analysis of risks in container transport between Japan and Europe/North America due to dependance on the foreign port, Technical not of National Institute for Land and Infrastructure Management, 1155.
- 2) Angeloudis, P., Bichou, K., Bell, M.G.H., Fisk, D., 2007. Security and reliability of the liner container shipping network: Analysis of robustness using a complex network framework. Bichou, K, Bell, MGH Evans, A.
- 3) Bartholdi, J.J., Jarumaneeroj, P., Ramudhin, A., 2016. A new connectivity index for container ports. Maritime Economics & Logistics. 18, 231-249.
- 4) Bergamini, E., Crescenzi, P., D'Angelo, G., Meyerhenke, H., Severini, L., Velaj, Y., 2018. Improving the betweenness centrality of a node by adding links. ACM Journal of Experimental Algorithmics. 23, 1-32.
- 5) Bernhofen, D.M., El-Sahli, Z., Kneller, R., 2016. Estimating the effects of the container revolution on world trade. Journal of International Economics. 98, 36-50.
- 6) Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., Hwang, D.U., 2006. Complex networks: Structure and dynamics. Physics Reports. 424, 175-308.
- 7) Brooks, M.R., Cullinane, K.P.B., Pallis, A.A., 2017. Revisiting port governance and port reform: A multi-country examination. Research in Transportation Business & Management. 22, 1-10.
- 8) Calatayud, A., Mangan, J., Palacin, R., 2017. Vulnerability of international freight flows to shipping network disruptions: A multiplex network perspective. Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review. 108, 195-208.
- 9) Chiu, R.H., Yen, D.C., 2015. Application of organizational life cycle theory for port reform initiatives in Taiwan. Research in Transportation Business & Management. 14, 14-24.
- 10) Cullinane, K., Khanna, M., 2000. Economies of scale in large containerhips: Optimal size and geographical implications. Journal of Transport Geography. 8, 181-195.
- 11) Cullinane, K., Wang, Y., 2012. The hierarchical configuration of the container port industry: An application of multiple linkage analysis. Maritime Policy & Management. 39, 169-187.
- 12) Ducruet, C., 2008. Hub dependence in constrained economies. The case of North Korea. Maritime Policy & Management. 35, 377-394.
- 13) Ducruet, C., 2013. Network diversity and maritime flows. Journal of Transport Geography. 30, 77-88.
- 14) Ducruet, C., 2016. The polarization of global container

- flows by interoceanic canals: Geographic coverage and network vulnerability. *Maritime Policy & Management*. 43, 242-260.
- 15) Ducruet, C., 2017. Multilayer dynamics of complex spatial networks: The case of global maritime flows (1977-2008). *Journal of Transport Geography*. 60, 47-58.
- 16) Ducruet, C., 2020. The geography of maritime networks: A critical review. *Journal of Transport Geography*. 88.
- 17) Ducruet, C., Lee, S.W., Ng, A.K.Y., 2010. Centrality and vulnerability in liner shipping networks: Revisiting the NorthEast Asian port hierarchy. *Maritime Policy & Management*. 37, 17-36.
- 18) Ducruet, C., Lugo, I., 2013. Structure and dynamics of transportation networks: Models, methods, and application. J.P. Rodrigue, Notteboom, T., Shaw, J. (Eds.), *The SAGE handbook of transport studies*. SAGE Publications Ltd., London.
- 19) Ducruet, C., Notteboom, T.E., 2012. The worldwide maritime network of container shipping: Spatial structure and regional dynamics. *Global Networks*. 12, 395-423.
- 20) Ducruet, C., Zaidi, F., 2012. Maritime constellations: A complex network approach to shipping and ports. *Maritime Policy & Management*. 39, 151-168.
- 21) Fang, Z., Yu, H., Lu, F., Feng, M., Huang, M., 2018. Maritime network dynamics before and after international events. *Journal of Geographical Sciences*. 28, 937-956.
- 22) Freire Seoane, M.J., González Laxe, F., Pais Montes, C.P., 2013. Foreland determination for containership and general cargo ports in Europe (2007-2011). *Journal of Transport Geography*. 30, 56-67.
- 23) González Laxe, F., Jesus Freire Seoane, M., Pais Montes, C., 2012. Maritime degree, centrality and vulnerability: Port hierarchies and emerging areas in containerized transport (2008-2010). *Journal of Transport Geography*. 24, 33-44.
- 24) Hatani, F., 2016. Institutional plasticity in public-private interactions: Why Japan's port reform failed. *Journal of World Business*. 51, 923-936.
- 25) Hu, Y., Zhu, D., 2009. Empirical analysis of the worldwide maritime transportation network. *Physica. Part A, Statistical Mechanics & its Applications*. 388, 2061-2071.
- 26) Imai, A., Shintani, K., Papadimitriou, S., 2009 Multi-port vs. Hub-and-Spoke port calls by containerships. *Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review*. 45, 740-757.
- 27) Inoue, S., 2018. Realities and challenges of port alliance in Japan—Ports of Kobe and Osaka. *Research in Transportation Business & Management*. 26, 45-55.
- 28) Kaluza, P., Kölzsch, A., Gastner, M.T., Blasius, B., 2010. The complex network of global cargo ship movements. *Journal of the Royal Society, Interface*. 7, 1093-1103.
- 29) Kang, D.J., Bang, H.S., Woo, S., 2014. A study on the liner shipping network of the container port. *Journal of Korea Port Economic Association*. 30, 73-96.
- 30) Kawasaki, T., Hanaoka, S., Yiting, J., Matsuda, T., 2019. Evaluation of port position for Intra-Asia maritime network. *Asian Transport Studies*. 5, 570-583.
- 31) Lam, J.S.L., Liu, C., Gou, X., 2017. Cyclone risk mapping for critical coastal infrastructure: Cases of East Asian seaports. *Ocean & Coastal Management*. 141, 43-54.
- 32) Lam, J.S.L., Yap, W.Y., 2011. Dynamics of liner shipping network and port connectivity in supply chain systems: Analysis on East Asia. *Journal of Transport Geography*. 19, 1272-1281.
- 33) Levinson, M., 2006. *How the shipping container made the world smaller and the world economy bigger*. Princeton University Press. the Box.
- 34) Lhomme, S., 2016. Vulnerability and resilience of ports and maritime networks to cascading failures and targeted attacks. C. Ducruet (Ed.), *Maritime networks: Spatial structures and time dynamics*. Routledge, New York, NY.
- 35) Liu, C., Wang, J., Zhang, H., 2018b. Spatial heterogeneity of ports in the global maritime network detected by weighted ego network analysis. *Maritime Policy & Management*. 45, 89-104.
- 36) Liu, C., Wang, J., Zhang, H., Yin, M., 2018a. Mapping the hierarchical structure of the global ship-ping network by weighted ego network analysis. *International Journal of Shipping & Transport Logistics*. 10, 63-86.
- 37) Liu, Q., Yang, Y., Ke, L., Ng, A.K.Y., 2022. Structures of port connectivity, competition, and shipping networks in Europe. *Journal of Transport Geography*. 102.
- 38) McCalla, R., Slack, B., Comtois, C., 2005. The Caribbean Basin: Adjusting to global trends in containerization. *Maritime Policy & Management*. 32, 245-261.
- 39) Meng, Q., Wang, S., 2011. Liner shipping service network design with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review*. 47, 695-708.
- 40) Monios, J., 2019. Polycentric port governance. *Transport Policy*. 83, 26-36.
- 41) Montes, C.P., Seoane, M.J., Laxe, F.G., 2012. General cargo and containership emergent routes: a complex networks description. *Transport Policy*. 24, 126-140.
- 42) Moon, I.K., Qiu, Z.B., Wang, J.H., 2015. A combined tramp ship routing, fleet deployment, and network design problem. *Maritime Policy & Management*. 42, 68-91.
- 43) Mou, N., Wang, C., Yang, T., Ren, H., Zhang, L., Xu, H., Liu, W., 2022. Spatiotemporal patterns of maritime trade between China and Maritime Silk Road: Evidence from a quantitative study using social network analysis. *Journal of Transport Geography*. 102.
- 44) Notteboom, T., Rodrigue, J.P., 2012. The corporate geography of global container terminal operators. *Maritime Policy & Management*. 39, 249-279.
- 45) Notteboom, T.E., Parola, F., Satta, G., Pallis, A.A., 2017. The relationship between port choice and terminal involvement of alliance members in container shipping. *Journal of Transport Geography*. 64, 158-173.
- 46) Montes, C.P., Freire Seoane, M.J., González Laxe, F., 2012. General cargo and containership emergent routes: A complex networks description. *Transport Policy*. 24, 126-

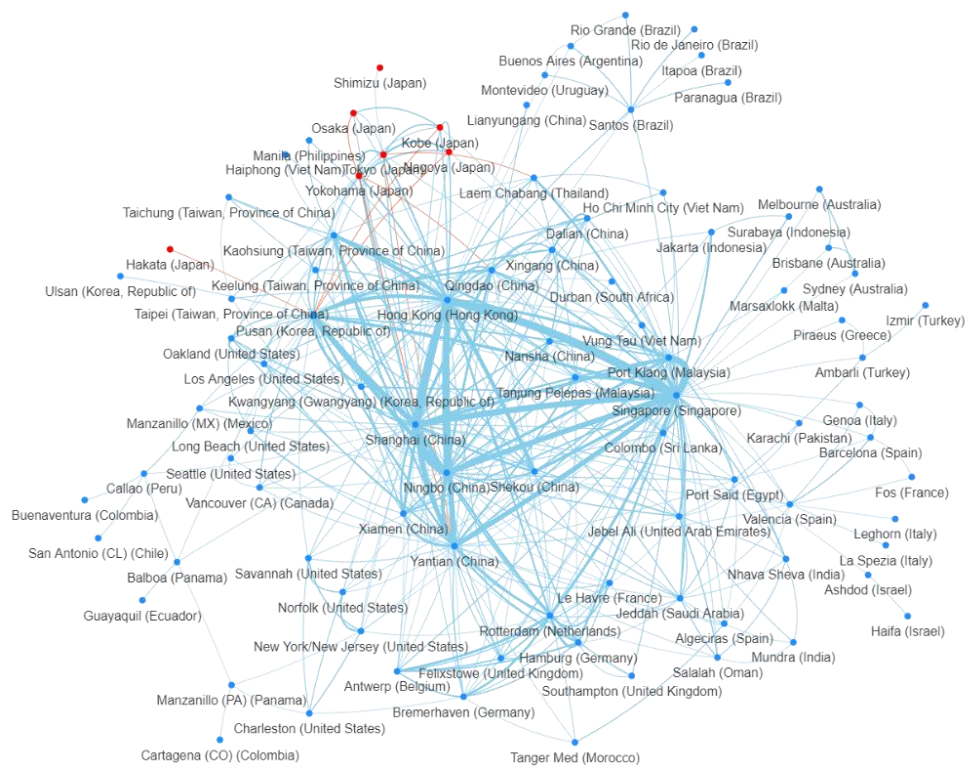
- 140.
- 47) Pallis, A.A., Notteboom, T.E., de Langen, P.W., 2008. Concession agreements capabilities and market en-try in the container terminal industry. *Maritime Economics & Logistics*. 10, 209-228.
- 48) Pan, J.J., Bell, M.G.H., Cheung, K.F., Perera, S., Yu, H., 2019. Connectivity analysis of the global shipping network by eigenvalue decomposition. *Maritime Policy & Management*. 46, 957-966.
- 49) Park, K.S., Seo, Y.J., Kim, A.R., 2017. Seaport Network based on Change of Korean Liner Service Pattern. *The Asian Journal of Shipping & Logistics*. 33, 221-228.
- 50) Saito, T., Shibasaki, R., Murakami, S., Tsubota, K., Matsuda, T., 2022. Global maritime container shipping networks 1969-1981: Emergence of container shipping and reopening of the Suez Canal. *Journal of Marine Science & Engineering*. 10, 602.
- 51) Shinohara, M., 2017. Characteristics of Japanese port policy: Strategic ports and policy dilemma. *Research in Transportation Business & Management*. 22, 100-107.
- 52) Song, S.C., Park, Sh, Yeo, G.T., 2019. Network structure analysis of a sub-hub-oriented port. *The Asian Journal of Shipping & Logistics*. 35, 118-125.
- 53) Sugimura, Y., 2022. Public-private partnerships in Japan's cruise terminal operations. *Research in Transportation Business & Management*. 45, 100593.
- 54) Sugimura, Y., Wakashima, H., Liang, Z., Shibasaki, R., 2022. Logistics strategy simulation of second-ranked ports on the basis of Japan's port reforms: A case study of Hakata Port. *Maritime Policy & Management*. 2022, 1-17.
- 55) Takahashi, K., 2014. Study on the port management system to reinforce Japan's international competitiveness. Doctoral Thesis. Nihon University.
- 56) Tocchi, D., Sys, C., Papola, A., Tinessa, F., Simonelli, F., Marzano, V., 2022. Hypergraph-based cen-trality metrics for maritime container service networks: A worldwide application. *Journal of Transport Geography*. 98.
- 57) Tovar, B., Hernández, R., Rodríguez-Déniz, H., 2015. Container port competitiveness and connectivity: The Canary Islands main ports case. *Transport Policy*. 38, 40-51.
- 58) Verschuur, J., Koks, E.E., Hall, J.W., 2020. Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience. *Transportation Research Part D: Transport & Environment*. 85.
- 59) Viljoen, N.M., Joubert, J.W., 2016. The vulnerability of the global container shipping network to targeted link disruption. *Physica. Part A, Statistical Mechanics & its Applications*. 462, 396-409.
- 60) Wang, Y., Cullinane, K., 2008. Measuring container port accessibility: An application of the princi-pal eigenvector method (PEM). *Maritime Economics & Logistics*. 10, 75-89.
- 61) Wang, Y., Cullinane, K., 2016. Determinants of port centrality in maritime container transportation. *Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review*. 95, 326-340.
- 62) Woolley-Meza, O., Thiemann, C., Grady, D., Lee, J.J., Seebens, H., Blasius, B., Brockmann, D., 2011. Complexity in human transportation networks: A comparative analysis of worldwide air transportation and global cargo-ship movements. *The European Physical Journal B*. 84, 589-600.
- 63) Wu, D., Wang, N., Yu, A., Wu, N., 2019. Vulnerability analysis of global container shipping liner network based on main channel disruption. *Maritime Policy & Management*. 46, 394-409.
- 64) Xu, M., Pan, Q., Muscoloni, A., Xia, H., Cannistraci, C.V., 2020. Modular gateway-ness connectivity and structural core organization in maritime network science. *Nature Communications*. 11, 1-15.
- 65) Zhang, Q., Zheng, S., Geerlings, H., El Makhouloufi, A., 2019. Port governance revisited: How to govern and for what purpose? *Transport Policy*. 77, 46-57.
- 66) Zhang, W., Deng, W., Li, W., 2018. Statistical properties of links of network: A survey on the ship-ping lines of Worldwide Marine Transport Network. *Physica A: Statistical mechanics and its applica-tions*. 502, 218-227.



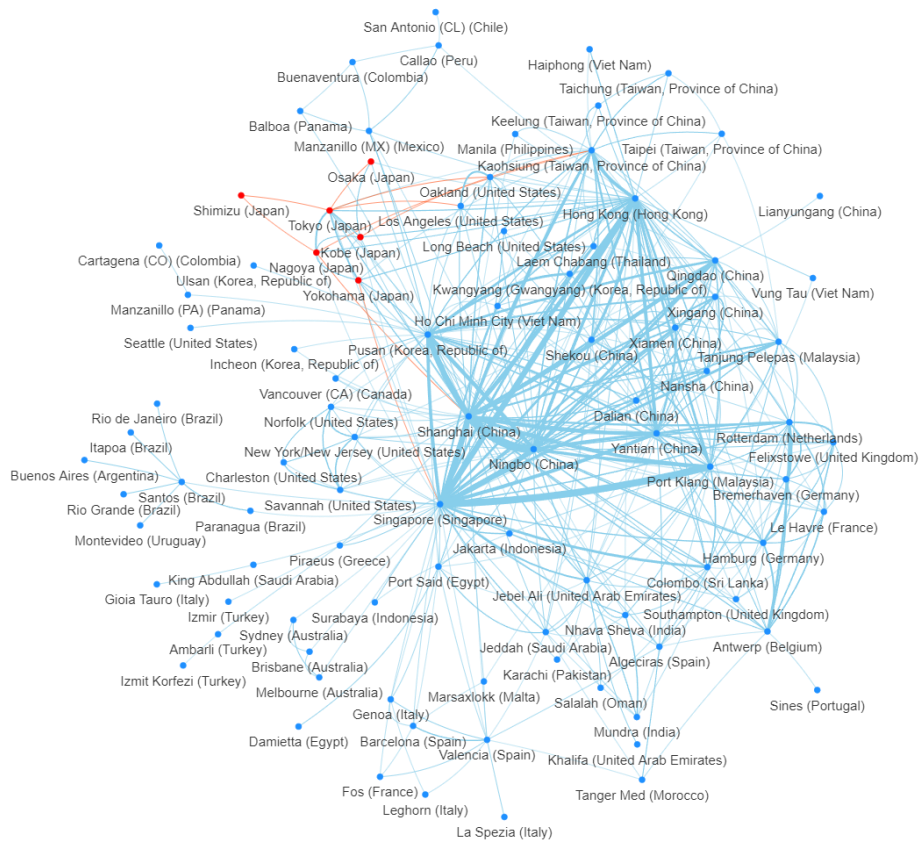
(a) GMCN (1998 年)



(b) GMCN (2006 年)



(c) GMCN (2012 年)



(d) GMCN (2016 年)

付録-1 次数 50 以上の港湾間により構成されるネットワーク

付録-2 各中心性指標の上位 20 港

	次数中心性					固有ベクトル中心性				
	1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019
1	Hong Kong	Hong Kong	Singapore	Singapore	Singapore	Hong Kong	Hong Kong	Singapore	Shanghai	Shanghai
2	Singapore	Singapore	Hong Kong	Shanghai	Shanghai	Singapore	Singapore	Shanghai	Singapore	Singapore
3	Keihin	Shanghai	Shanghai	Ningbo	Ningbo	Kaohsiung	Shanghai	Hong Kong	Ningbo	Ningbo
4	Kaohsiung	Pusan	Ningbo	Hong Kong	Pusan	Keihin	Yantian	Ningbo	Hong Kong	Pusan
5	Hanshin	Yantian	Pusan	Pusan	Hong Kong	Hanshin	Kaohsiung	Yantian	Pusan	Hong Kong
6	Rotterdam	Keihin	Pusan	Port Klang	Qingdao	Pusan	Ningbo	Pusan	Port Klang	Port Klang
7	Pusan	Kaohsiung	Port Klang	Yantian	Port Klang	Rotterdam	Pusan	Port Klang	Yantian	Qingdao
8	Nagoya	Ningbo	Rotterdam	Rotterdam	Yantian	Nagoya	Keihin	Shekou	Qingdao	Shekou
9	Le Havre	Rotterdam	Kaohsiung	Qingdao	Shekou	Keelung	Port Klang	Kaohsiung	Kaohsiung	Yantian
10	Felixstowe	Port Klang	Keihin	Kaohsiung	Rotterdam	Port Klang	Rotterdam	Shekou	Shekou	Kaohsiung
11	Keelung	Hamburg	Qingdao	Jebel Ali	Kaohsiung	Hamburg	Hanshin	Qingdao	Xiamen	Tanjung Pelepas
12	Hamburg	Hanshin	Shekou	Antwerp	Xiamen	Colombo	Xiamen	Keihin	Rotterdam	Rotterdam
13	Port Klang	Antwerp	Xiamen	Keihin	Antwerp	Oakland	Hamburg	Xiamen	Tanjung Pelepas	Xiamen
14	New York/ New Jersey	Chwan/ Shekou	Tanjung Pelepas	Xiamen	Keihin	Felixstowe	Chwan/ Shekou	Tanjung Pelepas	Keihin	Keihin
15	Colombo	Xiamen	Hamburg	Tanjung Pelepas	Jebel Ali	Le Havre	Qingdao	Hamburg	Chwan/ Shekou	Nansha
16	Oakland	Qingdao	Jebel Ali	Shekou	Tanjung Pelepas	Long Beach	Oakland	Chwan/ Shekou	Xingang	Xingang
17	Antwerp	Bremerhaven	Antwerp	Hamburg	Nansha	Shanghai	Nagoya	Xingang	Colombo	Colombo
18	Long Beach	Felixstowe	Jeddah	Chwan/ Shekou	Hamburg	Yantian	Shekou	Nansha	Jebel Ali	Hamburg
19	Charleston	Port Said	Bremerhaven	Colombo	Xingang	Los Angeles	Los Angeles	Kwangyang	Kwangyang	Jebel Ali
20	Bremerhaven	Le Havre	Xingang	Xingang	Colombo	Seattle	Tanjung Pelepas	Jebel Ali	Hamburg	Laem Chabang
21								Hanshin		
22			Hanshin							Hanshin
24				Hanshin	Hanshin				Hanshin	
29										
	媒介中心性					近接中心性				
	1998	2006	2012	2016	2019	1998	2006	2012	2016	2019
1	Singapore	Hong Kong	Singapore	Shanghai	Shanghai	Singapore	Hong Kong	Singapore	Ningbo	Ningbo
2	Hong Kong	Singapore	Shanghai	Singapore	Singapore	Hong Kong	Singapore	Hong Kong	Shanghai	Shanghai
3	Rotterdam	Rotterdam	Rotterdam	Pusan	Pusan	Kaohsiung	Kaohsiung	Ningbo	Singapore	Singapore
4	Charleston	Pusan	Hong Kong	Rotterdam	Rotterdam	Rotterdam	Yantian	Shanghai	Port Klang	Pusan
5	Keihin	Hamburg	Pusan	Algeciras	Jebel Ali	Keihin	Shanghai	Port Klang	Pusan	Port Klang
6	Pusan	Santos	Port Klang	Ningbo	Antwerp	Hanshin	Pusan	Yantian	Hong Kong	Hong Kong
7	Santos	Shanghai	Ningbo	Jebel Ali	Piraeus	Pusan	Port Klang	Pusan	Yantian	Qingdao
8	Le Havre	Algeciras	Antwerp	Hong Kong	Ningbo	Port Klang	Keihin	Rotterdam	Qingdao	Rotterdam
9	Algeciras	Kingston	Hamburg	Hamburg	Manzanillo	Keelung	Ningbo	Kaohsiung	Rotterdam	Shekou
10	New York/ New Jersey	Antwerp	Jebel Ali	Antwerp	Algeciras	Hamburg	Rotterdam	Shekou	Kaohsiung	Yantian
11	Hamburg	Keihin	Santos	Cartagena	Hamburg	Nagoya	Xiamen	Keihin	Tanjung Pelepas	Tanjung Pelepas
12	Piraeus	Jebel Ali	Algeciras	Piraeus	Jakarta	Felixstowe	Hamburg	Xiamen	Colombo	Colombo
13	Oakland	Bremerhaven	Valencia	Kingston	Cartagena	Jakarta	Shekou	Hamburg	Laem Chabang	Keihin
14	Kaohsiung	Port Klang	Manzanillo	Santos	Bremerhaven	Colombo	Hanshin	Qingdao	Shekou	Kaohsiung
15	Port Everglades	Le Havre	Keihin	Manzanillo	Santos	Le Havre	Nagoya	Tanjung Pelepas	Keihin	Laem Chabang
16	Felixstowe	Manzanillo	Miami	Keihin	Kingston	Bangkok	Chwan/ Shekou	Laem Chabang	Chwan/ Shekou	Kwangyang
17	Melbourne	Gioia Tauro	Bremerhaven	Jakarta	Tanger Med	Yantian	Laem Chabang	Colombo	Hamburg	Antwerp
18	Jeddah	Kaohsiung	Jeddah	Port Said	New York/ New Jersey	Oakland	Tanjung Pelepas	Jakarta	Xiamen	Nansha
19	Reykjavik	Barcelona	Ambarli	Surabaya	Valencia	Long Beach	Jakarta	Hanshin	Kwangyang	Xiamen
20	Long Beach	Piraeus	Lisbon	Marsaxlokk	Hong Kong	Laem Chabang	Keelung	Antwerp	Xingang	Hamburg
21					Keihin					
22	Hanshin									
25			Hanshin						Hanshin	
26		Hanshin		Hanshin						Hanshin
28										
31					Hanshin					

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1252

July 2023

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

