

貨物交通に対する総合的な評価手法の構築

厲 国権¹

¹正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 信号・情報技術研究部

(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:li.guoquan.56@rtri.or.jp

地球温暖化の進行を抑えるために、環境に優しい鉄道などの大量輸送機関の大きく寄与することが期待されている。また、少子高齢化の進展による労働人口の減少や経済情勢の内外変化に対して、現状で中長距離の陸上貨物輸送の大多数を占めるトラック輸送は、今後トラックドライバー不足に直面することが予想される。従って、貨物交通が直面している大きな課題は、単なる道路貨物の鉄道や船舶などへのモーダルシフトだけでなく、貨物交通全体の効率化である。本研究は、貨物輸送の効率向上に向け、利用者や事業者の輸送手段や輸送計画などを含む様々な貨物輸送案における複数の指標項目を体系化し、貨物交通に対する総合的な評価手法の構築を検討する。それにより、輸送ニーズに合わせた貨物輸送の改善対応策を提案する手法を確立することを試みる。

Key Words : freight transport, hierarchical structure, shippers' consciousness, evaluation approach, rail-road intermodal transport

1. はじめに

多くの複雑な内部・外部要素に関係している貨物交通において、現状の国内陸上貨物輸送は、トラック輸送が圧倒的な分担率を占めており、鉄道の分担率が概ねトンベースで約1%、トンキロベースで約4%の低水準に留まっており、1980年代以来期待されたモーダルシフト対策の効果とは逆の現象が現われている。

一方、地球温暖化の進行や少子高齢化社会の進展などの社会問題への対応には、環境に優しくかつ大量輸送機関としての鉄道輸送が大きく寄与することが期待されている。今後、鉄道を含む陸上貨物交通に対しては、単なる輸送機関間のモーダルシフトだけではなく、貨物交通全体の効率化が求められている。

しかし、貨物交通では、あくまで荷主企業などの利用者が自社の商品輸送を行う際に、輸送手段や輸送計画案などの対比・評価により輸送案を決定する。従って、貨物輸送効率向上に対しては、貨物交通に関係する複数の要素や指標項目を体系化して各輸送案をより客観的かつ総合的に評価することが必要不可欠である。

それによって、各輸送手段や輸送計画案に対する各々のメリットとデメリットが判明でき、荷主企業の輸送ニーズに応じた輸送事業者の輸送改善対応策を策定することが可能となる。

2. 貨物輸送案の評価について

(1) 貨物輸送案を代表する指標項目

貨物交通には、多くの関係要素があるため、輸送案を評価する指標項目は、輸送費用や輸送時間などの定量的なものだけでなく、複数の定量的かつ定性的な指標項目が含まれる。本研究は、それらの指標項目の中から次のような内容を網羅する。

a) 定量的な指標項目

- ・トータル輸送費用：貨物の発送地から輸送目的地までかかった輸送費用
- ・トータル輸送時間：貨物の発送地から目的地までかかった輸送時間
- ・エネルギー消費量：貨物輸送に伴って発生した燃料消費
- ・二酸化炭素（CO₂）排出量：貨物輸送に伴って発生した二酸化炭素
- ・駅やターミナルへのアクセス：発送と到着の荷主企業の所在地から、駅・ターミナルまで或いはインターチェンジまでの移動距離や移動時間など
- ・その他、など

b) 定性的な指標項目

- ・輸送ネットワークの利用し易さ：荷主企業が多くの地域へ商品を出荷するため、輸送事業者がもっている輸送

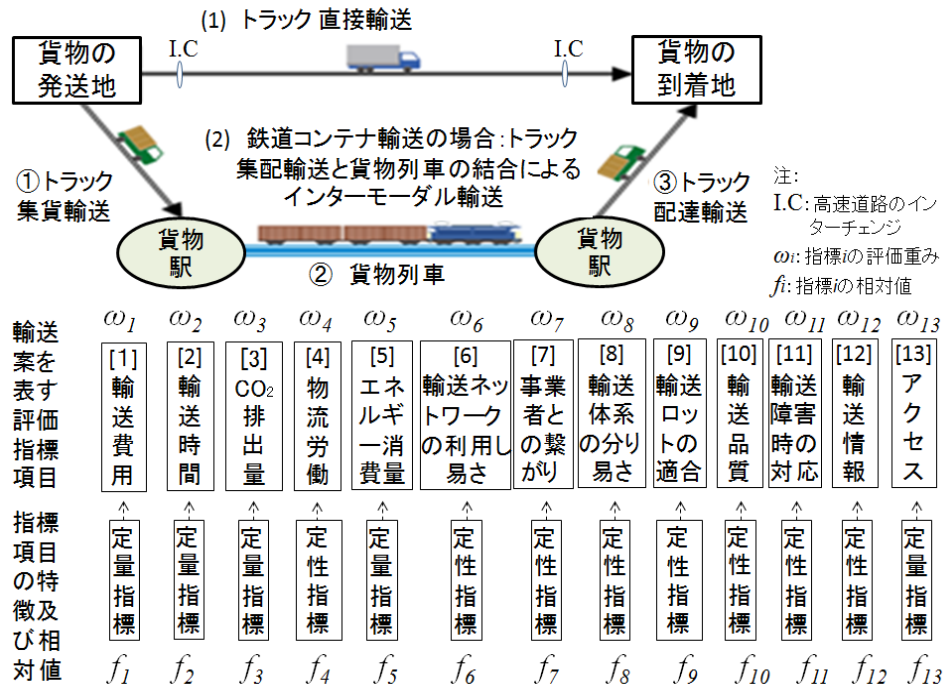


図-1 荷主企業の商品(貨物)輸送とそれに対応した輸送案に係わる指標項目

ネットワークの状況

- ・輸送事業者とのつながり：荷主企業が輸送事業者との間に長期的に築いた関係
- ・物流労働力の確保：荷主企業の商品輸送などの物流に関わった労働力の課題への対応策などの状況
- ・輸送体系のわかりやすさ：輸送案を実施する輸送事業者のあり方に関する状況
- ・輸送ロットの適合：荷主企業から出荷した商品ロットが、選ばれる輸送手段或いは輸送事業者から提供した容器(コンテナなど)や車両とのマッチング状況
- ・輸送品質：複雑な内容が含まれているが、輸送手段に対する商品の破損が少なさ、温度・湿度管理がよさ、そして定時性・安定性などの状況
- ・輸送障害時の対応：自然災害などに遭遇したときに、自社の商品輸送状況が如何に扱われるか、また受けた影響を最小化するために対応する必要な対応策の状況
- ・リアルタイム輸送情報：商品輸送中の実情を、輸送事業者により随時に把握する状況
- ・その他、など

(2) 輸送案の総合的な評価

前述した貨物輸送案における多くの指標項目は、指標項目間の相対的な重要性が異なる。また、荷主企業は、複数の輸送案から自社の商品輸送ニーズに合わせた輸送手段や輸送計画案を選択する。これらの輸送案を一律の基準で評価することが必要となる。図-1は、陸上貨物輸送の場合に、トラック輸送と鉄道コンテナ輸送(インターモーダル輸送)という輸送形態を示す。荷主企業は、

自社の輸送ニーズに応じて様々な輸送手段がある。例えば、鉄道コンテナ輸送の場合では、トラック集配輸送と貨物列車の結合によるインターモーダル輸送を行う。そのため、貨物列車の種類(直行か中継)・時間帯・走行経路の設定や施設へのアクセス、そしてトラックと鉄道との連携等の状況によって複数の貨物輸送案、或いは現状に対する改善対策案を策定することが可能となる。これらの貨物輸送案の良否については、一律の基準に基づいた次の式(1)で総合的な評価を行い、貨物輸送案の総合評価値の算出により判定する。

$$F_{(j)} = \sum_i \omega_i \times f_{(j)i} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 $F_{(j)}$ は、貨物輸送案jの総合評価値で、この値が大きくなればなるほど輸送案の総合評価が高くなる。 ω_i は、評価指標項目の評価重みで、 $f_{(j)i}$ は、輸送案の比較を行う指標相対値を示すものである。なお、j=Tは、トラック輸送を、j=Rは、鉄道コンテナ輸送を示す。

(3) 指標値の取得

貨物輸送案における指標項目は、定量的な指標と定性的な指標がある。それらの指標値の取得は、次のように考える。

定量的な指標項目については、トータル輸送費用、トータル輸送時間、CO₂排出量、エネルギー消費量、貨物駅・ターミナルなどの輸送施設へのアクセスが含まれる

が、輸送案を策定するときには各々の指標値を算出することができる。

一方、定性的な指標項目については、物流労働力の確保、輸送ネットワークの利用し易さ、輸送事業者との繋がり、輸送体系のわかり易さ、輸送ロットの適合、輸送品質、輸送障害時の対応、輸送情報等が含まれるが、これらの指標項目については、自社の商品輸送に詳しく把握している荷主企業の物流担当者・経験者にスコアをつけてもらうことによって定量化することができる。

(4) 評価指標相対値の算出

各評価指標相対値は、複数の輸送案における指標項目の値を比較することによって算出される。

ここでは、陸上貨物輸送に対して、トラック輸送と鉄道コンテナ輸送との比較を行い、各指標項目の評価指標相対値を、以下の2つのパターンに分類して求める。

1つは、貨物輸送案における評価指標項目の指標値に比例して、評価も高くなる項目である。この場合の評価指標相対値($f_{(R)}i$)は、次の式(2)で算出することができる。

$$\begin{aligned} f_{(R)}i &= \frac{R_i}{R_i + T_i}, \quad \dots \quad (2) \\ f_{(T)}i &= \frac{T_i}{R_i + T_i} \end{aligned}$$

ここでは、指標項目*i*は、図-1に示す*i*=[4], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]を指す。 R_i は、鉄道コンテナ輸送における評価指標項目*i*の指標値で、 T_i はトラック輸送における評価指標項目*i*の指標値である。

もう1つは、指標値が大きくなると、評価が低くなる評価指標項目である。その場合の評価指標相対値の計算は、次の式(3)で対応することができる。

$$\begin{aligned} f_{(R)}i &= \frac{1/R_i}{1/R_i + 1/T_i}, \quad \dots \quad (3) \\ f_{(T)}i &= \frac{1/T_i}{1/R_i + 1/T_i} \end{aligned}$$

ここでは、指標項目*i*は、図-1に示す*i*=[1], [2], [3], [5], [13]を指す。

3. 指標項目の総合評価重みの算出

荷主企業の貨物輸送案選択は、物流担当者が様々な輸送手段や輸送計画案などという輸送案の対比・評価に基

づいた主観的判断による意思決定である。すなわち、荷主企業が、自社商品輸送を行うときに、自社のロジスティクスコストの低減という経済的効果、環境問題への対応という社会的効果、物流の効率性、輸送手段の利用しやすさなどの利便性そして輸送サービスの優位性などの複数の側面から、輸送ニーズに合わせた輸送案を決定する。

(1) 荷主企業が考慮する側面に対する評価項目の構成

前述したように、荷主企業は輸送案決定に対して複数の側面を考慮する。また、主観的判断には、複雑かつあいまいなものが多いため、各側面のもとで構成される評価指標項目は、同じ内容もあるし、異なるものもある。本研究では、これまでの分析と調査結果により、各側面に対して以下のような指標項目を挙げる。

a) 経済的効果に対しては、貨物輸送を行う場合、荷主企業の全体ロジスティクスコストの状況を考えなければならない。輸送案決定にあたっては、輸送に直接にかかった輸送費用に加え、物流の全体への影響に及ぼした指標項目が含まれる。

b) 社会的効果に対しては、企業の社会的責任 (CSR) として、環境悪化の防止、労働力不足への対応、交通渋滞・安全への対応などが求められることで、経済的効果と同様な指標項目で構成される。

c) 物流効率性に対しては、物流とロジスティクスを荷主企業の第3利潤源として、商品在庫量の減少、自家用トラック台数の減少、流通リードタイムの短縮、物流施設の共同活用などを含む内容が貨物輸送に反映される。

d) 利便性に対しては、荷主企業が、輸送事業者との間の取引による自社商品輸送を行うことで、商品の出荷時間帯と輸送目的地への入荷時間帯が輸送スケジュールに合うかどうか重要な判断要素の1つである。また、商品の消費地(貨物輸送先)は、1つの特定地域に限られるものではなく、多数の地域がある。出荷した商品がどこへでも届けられるように、駅やターミナルへのアクセシビリティなどを含む全国輸送ネットワークの利用し易さが重要となる。

e) 輸送サービスの優位性に対しては、多くの内容が含まれているが、費用、時間などの基本指標に加え、自社商品輸送に適合しているかどうか重要な内容となる。

従って、本研究では、経済的効果、社会的効果そして物流効率性という側面に対して、輸送費用、CO₂排出量、エネルギー消費量、輸送時間、輸送施設へのアクセス状況、物流労働力の確保、輸送ロットの適合、輸送品質(定時性、安定性、温度湿度管理や破損状況など)、災害や輸送故障時の対応そして輸送情報の取りやすさなどの指標項目を設定する。

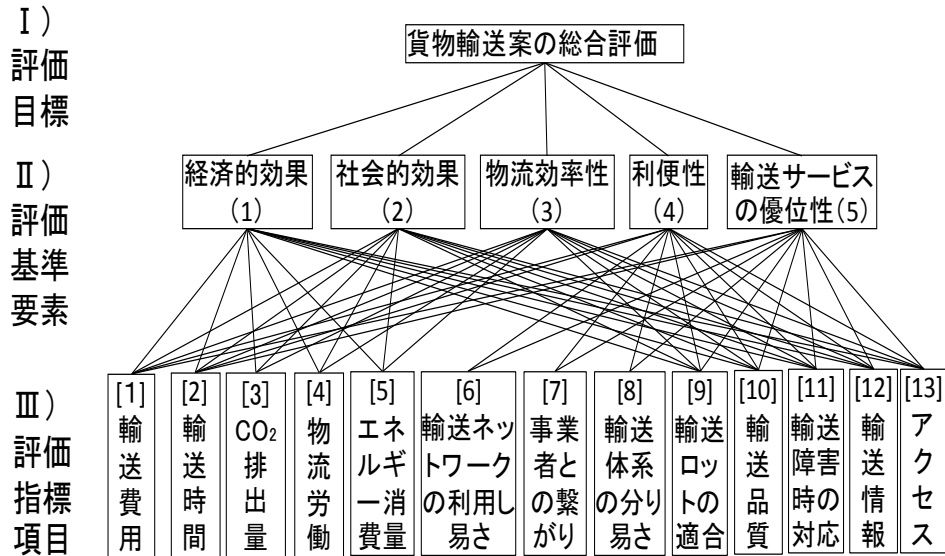


図-2 貨物輸送評価における階層的な構造体系

一方、利便性や輸送サービスの優位性という側面に対しては、輸送費用、輸送時間、輸送施設へのアクセス状況、輸送ネットワークの利用し易さ、輸送事業者との繋がり状況、輸送体系の分かり易さ、輸送ロットの適合、輸送品質（定時性、安定性、温度湿度管理や破損状況など）、災害や輸送故障時の対応そして輸送情報の取りやすさなどの評価指標項目が含まれている。

(2) 輸送案に対する階層的な総合評価の体系化

以上の分析に基づいて、貨物輸送案に対する総合的な評価は、複数の側面を評価基準要素にした評価指標項目を図-2に示すように体系化することができる。これは、荷主企業が貨物交通に対する総合的に対比・評価することによって輸送案を決定することともいえよう。

その中で、評価基準要素層（図-2のⅡ）においては、経済的効果、社会的効果、物流効率性、利便性、輸送サービスの優位性等の5つの評価要素を考慮する。また、各基準要素のもとには、複数の指標項目（図-2のⅢ）が含まれている。

(3) 貨物輸送案の評価体系における各評価基準要素・指標項目の重要性度合い（評価重み）

a) 基本的な考え方

貨物輸送案における各基準要素並びに指標項目の重要性度合いに差異がある。それぞれの重要性度合い(評価重み)は、荷主企業の物流担当・経験者が行った自社の商品輸送に対する商的慣習や経験などによる判断意識データを分析することによって求めることができる。

基本的な考え方は、以下のとおりである。

①Thomas L. Saaty教授により確立されたAHP手法¹⁾の計算原理と、意識データの定量化方法を活用する。

②本研究で行ったWEBアンケート調査で取得した、荷主企業の物流担当・経験者からの判断意識データを活用する。

③AHP手法に基づいて計算を行うときに、各要素・項目間の相対重要性（一対比較）の平均値を使用する。

b) 要素・項目別重要性度合い（評価重み）

図-2に示した評価基準要素の重要性度合い(評価重み)を算出した結果は、図-3に示すように、経済的効果が0.3009、利便性が0.1993、物流効率性が0.1991、そしてサービスの優位性が0.1666、社会的影響が0.1342であることがわかった。

また、各評価基準要素のもとにおける評価指標項目の重要性の度合い(評価重み)が同様の方法で算出され、各評価基準要素ならびにそれに対応した指標項目の評価重みの結果を利用して各指標項目の総合評価の重みを求めることができた。その結果を、図-4に示す。

以上より、評価基準における経済的効果の重要性度合いが高くなっていることから、荷主企業の貨物輸送案決定にあたって、経済的な側面を重視していることが明らかになった。また、貨物輸送案を決定する基本判断要件は、輸送費用、輸送品質、輸送障害時の対応、輸送時間（いずれも重みが0.1以上を有する）であることがわかった。さらに、輸送情報、輸送ロットの適合そして貨物駅やターミナルへのアクセスなどの状況も重視され、物流労働力の確保と、貨物輸送に伴うCO₂排出量やエネルギー消費量などの影響も一定程度、考慮されることが判明した。

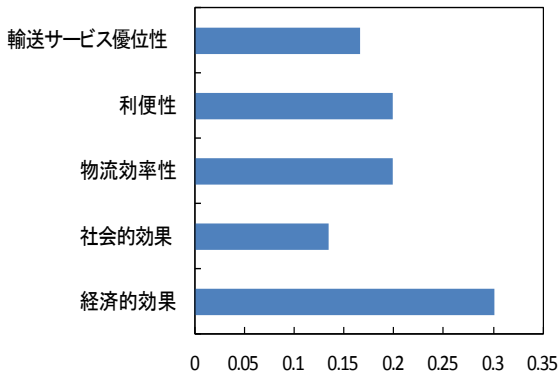


図-3 基準要素の重要性度合い (評価重み)

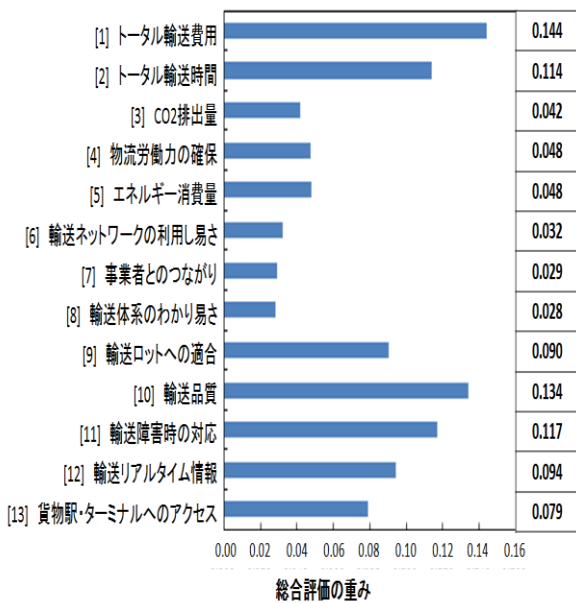


図-4 指標項目の重要性度合い (総合評価の重み)

表-2 現状の貨物輸送条件

項目	鉄道コンテナ輸送	トラック輸送
輸送費用	営業案内ガイド ²⁾ に示す運賃率・料金	貨物運賃と各種料金表 ³⁾ における距離制運賃率とナビタイム ⁷⁾ 検索から取得した高速道路料金
輸送時間	コンテナ時刻表 ^{5,6)} に示す列車の走行時間と構内作業時間	ナビタイム ⁴⁾ から取得したドアツードア時間
アクセス	現状の貨物列車の取扱駅まで	高速道路のインターチェンジ(I.C.)まで
走行経路	貨物列車ダイヤ	ナビタイム ⁴⁾ のルート検索から取得したルート

表-3 鉄道輸送の改善対応策

項目	対応策	内容
輸送費用	実態運賃の採用	実態運賃モデル ^{7,8)} を用いて算出する。
輸送時間	列車のスピードアップと発着作業効率の向上によるオンレール輸送時間の短縮	・同経路で走行している他の高速貨物列車を参照して列車スピードを設定する。 ・構内作業効率を向上することによって駅で滞留時間を短縮する。
アクセス	荷主企業に近い貨物駅や物流施設、ローカル貨物列車の活用	荷主企業の貨物が、現状の貨物列車の取扱駅までのアクセスだけでなく、他の駅にもアクセスでき、ローカル貨物列車によって利用される貨物列車に接続して輸送される。
荷主ロジスティクスコストの考慮	貨物駅構内における留置・保管サービスの活用	貨物駅の構内に発着とも5日間無料で留置・保管という輸送サービスを活用する ^{2,3)} 。

4. ケーススタディ分析

ここでは、本研究で構築した評価手法を利用して、貨物の発送地から到着地までの陸上輸送に対するトラック輸送と鉄道コンテナ輸送との対比・評価を行う。それにより、輸送ニーズに合わせた貨物輸送の改善対策案を検討し、改善案の効果を分析する。

(1) 現状の鉄道コンテナ輸送とトラック輸送との比較

表-2は、現状における貨物の取扱施設、走行経路、アクセス、営業案内などの輸送条件を示す。それらの輸送条件に基づいて現状の鉄道コンテナ輸送とトラック輸送との対比・評価を行い、その結果を、図-5に示す。

トラック輸送に対する総合評価値は0.5483で、鉄道コンテナ輸送に対する総合評価値は0.4517である。鉄道コンテナ輸送への評価がトラック輸送より低くなっていることが判明した。また、評価指標項目別の評価値をみると、次のように詳細に分類することができる。

- ・鉄道貨物輸送への評価が明らかに高い項目：CO₂排出量、エネルギー消費量

- ・鉄道コンテナ輸送とトラック輸送が概ね同じ評価である項目：物流労働力の確保・輸送情報の提供（鉄道がやや高い）と、輸送ネットワークの利用し易さ・輸送事業者との繋がり・輸送体系のわかり易さ・輸送ロットの適合（トラックがやや高い）

- ・鉄道コンテナ輸送への評価が明らかに低い項目：トータル輸送費用、トータル輸送時間、輸送品質、輸送障害時の対応、貨物駅やターミナル施設などへのアクセス

従って、鉄道コンテナ輸送が明らかに低くなっている評価指標項目に着目して、トラック輸送と対比すること

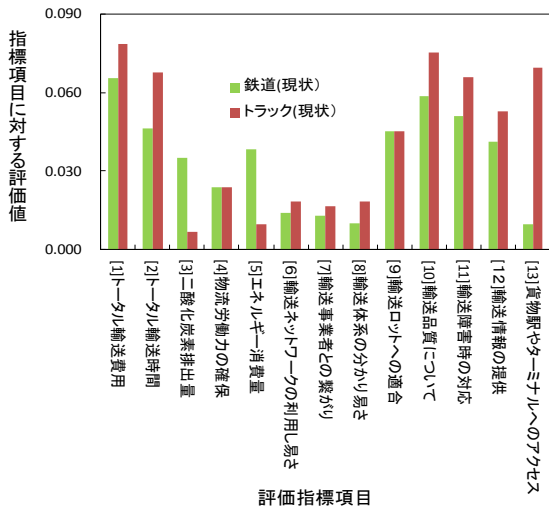


図5 現状の輸送条件に基づいた鉄道コンテナ輸送とトラック輸送の比較

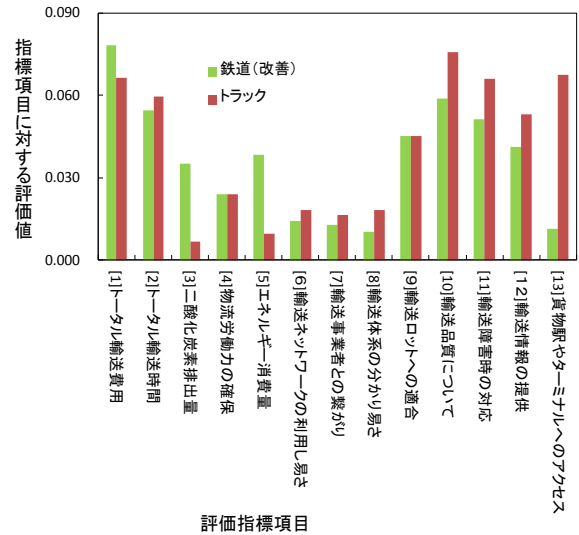


図6 輸送改善対策案に基づいた鉄道コンテナ輸送とトラック輸送の比較

による改善対策による貨物輸送案の策定を検討することが必要となる。

(2) 輸送改善対策による鉄道コンテナ輸送への評価

現状の輸送条件に基づいた鉄道コンテナ輸送では、トータル輸送費用、トータル輸送時間、輸送品質、輸送障害時の対応、貨物駅やターミナル施設などへのアクセスなどの評価項目が、トラック輸送より明らかに低くなっているが、その中に、輸送品質には、輸送中における定時性・安定性・温度湿度管理や破損などが含まれるため、詳細な検討は今後の課題となる。また、輸送障害時の対応についても様々な原因が存在し、各々の原因に応じる課題を特定すべきである。ここでは、既存の輸送施設条件をベースにして、鉄道とトラック輸送を有機的に結合する視点から、トータル輸送費用、トータル輸送時間、貨物駅やターミナル施設などへのアクセスに対して、表-3に示すような改善対策を考案する。

表-3に示した輸送改善対策に基づいて、トラック輸送との対比・評価を行った結果は、図-6に示す。

改善案に対して、鉄道コンテナ輸送における「輸送費用」への評価値が、トラック輸送より高くなり、「輸送時間」についての評価値も大きく向上したことが判明した。鉄道輸送へのアクセスについての評価はやや高くなっているが、トラック輸送に比べて大きな差が存在することが分かった。また、改善対策による鉄道コンテナ輸送への総合評価値が0.4745となり、現状より0.0228向上したことから、同改善対策案は、一定程度の評価が得られることが考えられる。一方、トラック輸送への総合評価値が0.5255であることに対して、鉄道輸送には、集配輸送を含むアクセスをはじめ、輸送品質、輸送障害時の対応など、全面的に改善する必要があることが明らか

になり、今後の課題として対応するべきと指摘できる。

5. まとめ

本研究では、地球温暖化や少子高齢化などの社会問題への対応、貨物輸送の効率向上の実現に向けて貨物輸送に関する改善対応策を提案する手法を確立するために、貨物交通に対する総合的な評価手法の構築を行った。

同手法を用いて鉄道コンテナ輸送とトラック輸送との対比・評価を行い、現状の鉄道貨物輸送の問題点が判明できた。また、それらの問題点に応じて複数要素を考慮した輸送改善対策案を適用したケーススタディを実施し、一定程度の改善効果のあることを確認できた。

今後、利用者や事業者が輸送計画案の設定や輸送サービス改善対策案の策定を行うときに支援する手法として、貨物輸送全体の効率化に寄与できると考えられる。

参考文献

- 1) T. L. Saaty: The Analytical Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980
- 2) JR貨物発行：コンテナ営業案内ガイド, 2010～2014
- 3) 交通日本社：貨物運賃と各種料金表, 2007
- 4) 自動車ルート検索：<http://www.navitime.co.jp/drive/>
- 5) 公益財団法人鉄道貨物協会：貨物時刻表2010～2014
- 6) JR貨物発行：コンテナ時刻表, 2010～2014
- 7) 厲国権：中長距離陸上貨物輸送の鉄道利用による物流費用の低減効果, 鉄道総研報告, Vol.22, No.6, 2008
- 8) カーゴニュース：主要荷主の運賃・倉庫料金の実態, H18年

(2015. 7. 31 受付)