

「一般に入手可能な指標・指数から物流環境を推定する方法」調査・研究報告

公益社団法人 日本包装技術協会
ISO/TC 122国内対策委員会第一分科委員会
責任著者 高木 雅 広
M. Takagi

A Method for Estimating Logistics Environment from Generally Available Indicators and Indexes

Packaging engineers are always concerned about whether the test severity (or assurance level) they are using is the right choice for their packages to be shipped to countries/regions where no distribution environment data are available. In order to obtain insights which may eventually be utilized for helping those packaging engineers decide on their test severity, Japan National Mirror Committee to ISO/TC 122 came up with a question and decided to study its feasibility. The question was, "Can we infer the stress level of distribution environment on countries/regions (where no distribution environment data are available) from publicly available general statistical data and measured acceleration data of other countries/regions reported to industry-accepted conferences/journals, then utilize them to determine test severity?" This report discusses the applicability of this approach. (http://www.jpi.or.jp/english/pdf/report2014_en02.pdf)

1. 背景と目的

包装貨物の性能評価試験規格は、対象とする物流システムで発生するストレスを実測し、それらに基づいて試験レベルを設定することを原則としている。しかし、仕向け先の地域や物流システムによっては、実測調査が困難であることも多い。このような場合に対応できる方法として、一般的に入手可能な各国・地域の統計データ（指標・指数）から対応する国・地域の物流環境を推測し、適切な厳しさの試験条件を選定することが考えられる。

本調査の導入過程で、実際に各種の統計データを調査・分析し、「物流環境が実測できない場合の対応方法 調査・研究」で、その可能性が報告された。

本調査研究は、導入過程での調査結果を基に、大きな有効性が見込まれる指標・指数を絞り込み、モデルとなる国・地域に関する統計データ（指標・指数）を採取し、入手可能な実測データ（輸送振動の Grms 値）との相関度評価を試行することで、さらに具体的に「物流環境が実測できない場合の対応方法」を検討することを目的とする。

2. 本報告書の構成

本調査研究は、以下のような流れで実施し、報告書も同様に構成した。

- ・国際学会発表や査読論文を通して、実測データが入手可能な国をモデルとして選定
- ・実測データのまとめ（本調査・研究においては

表1 指標・指数調査機関の一覧

和名	英名(下段はURL)	略記
世界経済フォーラム	World Economic Forum www.weforum.org	WEF
世界銀行	The World Bank www.worldbank.org	WB
国際通貨基金	International Monetary Fund www.imf.org	IMF
経済協力開発機構	Organisation for Economic Co-operation and Development www.oecd.org	OECD
世界気象機構	World Meteorological Organization www.wmo.int	WMO
アジア開発銀行	Asian Development Bank www.adb.org	ADB
欧州復興開発銀行	European Bank for Reconstruction and Development www.ebrd.com	EBRD
米州開発銀行グループ	Inter American Development Bank www.iadb.org	IADB
アジア基金	The Asia Foundation asiafoundation.org	AF
国連ESCAP(アジア太平洋経済社会委員会)	United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific www.unescap.org	UNESCAP
東南アジア諸国連合	The Association of Southeast Asian Nations www.aseansec.org	ASEAN
国際道路連盟	International Road Federation www.irfnet.org	IRF
日本貿易振興機構	Japan External Trade Organization www.jetro.go.jp	JETRO
国際協力機構	Japan International Cooperation Agency www.jica.go.jp	JICA
日本国気象庁	Japan Meteorological Agency www.jma.go.jp	JMA
米国運輸省	US Department of Transportation www.dot.gov	US DOT
米国海洋大気圏局	National Oceanic and Atmospheric Administration www.noaa.gov	NOAA
カナダ アルバータ州	Government of Alberta (Ministry of Transportation) www.transportation.alberta.ca	

輸送振動のGrms値)

- ・大きな有効性が見込まれる指標・指数の検討
- ・相関分析と重回帰分析による、指標・指数の最終的な絞り込み
- ・物流環境(輸送振動)予測のための重回帰式の導出
- ・実測データがない国への重回帰式の適用と、試験レベルの区分可能性の検討

3. 事前調査結果のレビュー

物流システムにおけるストレスの大きさとの相関が高いと想定される一般統計データについて、表1に挙げた資料について調査・分析結果を行った。調査の対象には、以下に示すような基準を設け、「一般的に入手可能な各国・地域の統計データ」という条件を担保した。

- ① 輸送に直接関わる統計データ。
- ② 輸送に直接関わらなくとも、物流システムにおけるストレスの大きさと相関が高いことを期待される統計データ(例えば国の総合的な競争力や所得レベルなど)。
- ③ 国際的に認められている機関がリリースしている指数で、信頼性や継続性が高いもの(基本的に、公的機関や主要な非営利団体のもの)。これらの資料を調査・分析した結果、次のようなことが分かった。

●グローバルな指標・指数として、世界経済フォーラム(WEF)の“The Global Competitiveness Report”と世界銀行(WB)の“World Development Indicators”の影響力が大きい。

●WEFの“The Global Enabling Trade Report”と、WBの“Connecting to Compete”からは、貿易や物流についての指標・指数が多く得られる。リーダー層やロジ

スティクスの専門家へのアンケート調査などをもとにしているなど、より信頼性、関連性の高い情報を得られることが期待できる。

●実測調査ができないような場合において、このような指標・指数を参考にして試験条件の厳しさに強弱をつけることは有効な方法となり得る、と考えられる。しかし、ベースとなるデータが少ない状況では、指標や指数を利用して決定した試験の信頼性は低くなってしまっているので、今後この試験方法を開発するにあたっては、十分な実測データの蓄積が必要である。

また、以下の二つが、今後検討すべき課題として挙げられた。

① 技術的課題

- ・個々の指標・指数の算出方法のさらなる分析

表2 データを採用した文献とその出所

国・地域	文献番号	著者	タイトル	学会・雑誌名等	年
Bolivia	Bolivia 1	Rodriguez, Rossi, Takayama	Measuring environmental data in the Oruro - Yacuiba route in Bolivia to develop testing methods for packaging for future implementation in the laboratory	日本包装学会誌 Vol.13 No.6	2004
Brazil	Brazil 1	Rissi, P. Singh, Burgess, J. Singh	Measurement and Analysis of Truck Transport Environment in Brazil	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 21, 231-246	2008
China	China 1	Singh, Joneson	Measurement and Analysis of the Global Distribution Environment	Proceedings of the 22nd IAPRI Symposium on Packaging	2005
	China 2	Singh, Joneson	Measurement and Analysis of Global Truck, Rail and Parcel Shipments	Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging, 18-11	2006
	China 3	Yuan, et al.	Data Acquisition for Distribution Environment in the Region of South-Central of China	Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging, 12-18	2006
	China 4	Young, Baird	The China Project : An Assessment of the China Shipping and Handling Environments	Dimensions.04	2004
India	India 1	P. Singh, Sandhu, J. Singh, Joneson	Measurement and Analysis of Truck and Rail Shipping Environment in India	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 20, 381-392	2007
	India 2	Paul Singh, Eric Joneson	Measurement and Analysis of the Global Distribution Environment	Proceedings of the 22nd IAPRI Symposium on Packaging	2005
Japan	Japan 1	Lu, Ishikawa, Shiina, Satake	Analysis of Shock and Vibration in Truck Transport in Japan	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 21, 479-489	2008
	Japan 2	Saito	Intermittent Measurement of Loading Platform Vibration	Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging, 60-63	2006
Mexico	Mexico 1	Guzman-Siller, et al.	Vibration Test on Mexican Highways	Proceedings of 25th IAPRI Symposium on Packaging	2011
Spain	Spain 1	Bernad, et al.	Transport Vibration Laboratory Simulation : On the Necessity of Multiaxis Testing	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 24, 1-14	2011
	Spain 2	Garcia-Romeu-Martinez, et al.	Measurement and Analysis of Vibration Levels for Truck Transport in Spain as a Function of Payload, Suspension and Speed	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 21, 231-246	2008
Spain・Sweden	Spain 3	Giner, Garcia-Romeu-Martinez	Improvement on Transport Simulation Through Agricultural Routes Monitoring	Proceedings of 17th IAPRI World Conference on Packaging, 695-697	2010
Thailand	Thailand 1	Chonhenchob, et al.	Measurement and Analysis of Truck and Rail Vibration Levels in Thailand	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 23, 91-100	2010
	Thailand 2	Chonhenchob, et al.	Measurement and Analysis of Distribution Environment in Thailand : The Case of Produce Distribution	Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging, 26-30	2006
UK	UK 1	Griffiths, Hicks, Keogh, Shires	Investigating the Suitability of Testing Standards for Simulating Vehicle Vibrations during Supermarket Home Delivery	Proceedings of 17th IAPRI World Conference on Packaging, 695-697	2010
USA	USA 1	J. Singh, P. Singh, Joneson	Measurement and Analysis of US Truck Vibration for Leaf Spring and Air Ride Suspensions, and Development of Tests to Simulate these Conditions	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE 19, 309-323	2006
	USA 2	Joneson	Developing a Random Vibration Profile Standard	Proceedings of the 23rd IAPRI Symposium on Packaging	2007
	USA 3	Joneson, P. Singh, J. Singh	Developing Safe Loading and Damage Reduction Methods for Less than Truck Load Shipments	Proceedings of 15th IAPRI World Conference on Packaging, 1-7	2006

評価

- ・利用できる可能性のある指標・指数の絞込み
- ・指標・指数を、どのような重み付けで組み合わせるのが妥当か、についての研究

② 実務的課題

- ・指標・指数利用の前提となる、実測データの収集・分析をどのような手段で行うのか？
- ・ISO メンバーの中で、指標・指数のランクが低い国は、この方法を容易に受け入れないのではないか？ 彼らの同意を得るための、方策を検討する必要性の有無

本報告書は、主に上記の課題「① 技術的課題」に対応している。

4. 調査方法

事前調査の結果を考慮し、物流環境を推定するための指標・指数は、以下の代表的な4資料から選択し、絞込みを行うこととした。

- ① The Global Competitiveness Report (WEF)
- ② The Global Enabling Trade Report (WEF)
- ③ World Development Indicators (WB)
- ④ Connecting to Compete - Trade Logistics in the Global Economy (WB)

また、本調査研究においては、実輸送環境計測そのものは実施されないため、国際的な学会発表や査読論文から入手可能な公表データをもって、「実測データ」と定義付けた。比較的多くの公表データが存在し、利用しやすいデータとして、トラックやトレーラーによる輸送振動の Grms 値(実効加速度値)を選択した。

この「実測データ」を目的変数とし、各指標・指数を説明変数とした重回帰分析を行うことにより、一般に入手可能な指標・指数から物流環境(ここでは輸送振動の Grms 値)を推定することを試み、その結果について考察した。

なお、事前調査の結果を踏襲し、本報告書に

においても、GDPや道路総延長のように、数値情報がそのまま用いられるものを「指標」と呼び、国の競争力やインフラの質など統計処理によって一般化された数値を「指数」と呼んで区別している。

5. モデルとなる国・地域の選定

5.1 基本方針

既述の通り、国際学会発表や査読論文を通して公表データの入手が可能な国が対象となる。データの計測時期は、おおむね最近10年以内を目安とした。その結果、輸送振動のGrms値は比較的材料が揃っていることが確認された。

落下のデータは、国単位では米国・中国、そして地域単位としては欧州数カ国にまたがった小口貨物のものが公表されている。しかし、数が少ないため、本報告書では個別に分析することはしなかった。データさえそろえば、輸送振動分析と同様の手法で推定が可能と考えられる。

5.2 データを採用した文献

表2に、データを採用した文献とその出所の一覧を示す。IAPRI包装シンポジウムでの発表資料 (proceedings)、Dimensions 輸送包装シンポジウムの発表資料、Packaging Technology and Science誌の論文、日本包装学会誌の論文から採用した。本調査には、神戸大学大学院 海事科学研究科 輸送包装研究室による、輸送振動関連論文の要約資料を活用させていただいた。

5.3 モデルとなる国・地域

5.2節に挙げた文献から、本報告書においてモデルとなる国・地域を、表3のように選定した。

6. 実測データ（輸送振動のGrms値）のまとめ

6.1 データの制約

一般的には、輸送振動の特性を表す情報として、前後・左右・上下の3方向ランダム振動の

PSDプロファイル（周波数特性）とそれに対応したGrms値が使われる。しかし、PSDプロファイル形状の差異まで分析し、一般に入手可能な統

表3 モデルとなる国・地域

国名	地域
Bolivia	南米
Brazil	南米
China	東アジア
India	中央アジア
Japan	東アジア
Mexico	中南米
Spain	欧州
Thailand	東南アジア
United Kingdom	欧州
United States	北米

計データによってそれを推定することは困難なので、ここではGrms値を「実測データ」と定義して利用する。また、推定には3方向の中で一番大きな振動加速度成分をもつ上下方向のGrms値のみ採用した。実際、文献の中には、計測結果として上下方向のみのPSDやGrms値を記載しているものもある。

実際には、文献ごとに車両の大きさやサスペンション、積載重量の違いや、データ計測に使用した計測器とそれらの設定にも違いがあり、一貫性をもったデータとはいえない。それでも、現状では実際にこれらの国へ出向いて輸送振動計測調査を行うことができない、という制約を考えると、充分利用価値があるデータである。

6.2 Grms値のまとめ方法

文献のデータは、前述の通りさまざまな条件で計測したデータが混在しているため、単純に引用することはできない。とはいえ、逆にこれらのデータを完璧に統合するのも困難である。そのような認識に従い、一定の基準を設けてGrms値データをまとめ、本調査研究の目的を達成するのに十分な情報を作成した。基準は以下の通りである。

- ・文献に明確な記載があり、エアサスペンションと分かっている車両以外はリーフサスペンションに分類する。
- ・ほとんどの計測は、荷台の後方に計測器を取り付けて行われている。これは、「荷台の後方では前方に比べて大きな加速度が発生する。」という一般的な理解による。したがって、明

確に計測器の取り付け位置が文献に記載されていない場合でも、取り付け位置は荷台の後方として他のデータと同様に取り扱う。

計測時の搭載重量は、空・半分・満載・任意とさまざまなケースが混在している。本調査研究では、簡略化のため搭載重量の違いによる影響を考慮せずに扱う。

また、まとめ方の手順は以下のようになる。平均化やサスペンションの違いの平準化は、独自に決めた方法を採用した。

- ① 国別に情報を集約する。
- ② その中で車両 (Vehicle), サスペンション, 積載重量ごとにデータを分類し, 上下方向の Grms 値を記録する。
- ③ サスペンションごとに, Grms の平均値を算出し, それを

エアサスペンションとリーフサスペンションそれぞれの「Grms 代表値」とする。

(ここで, 計測時の積載重量の違いは考慮しない)

- ④ エアサスペンションの「Grms 代表値」を 2.37倍し補正する。
2.37倍する理由

表4 文献データから算出した各国の「国代表 実測 Grms 値」

国名 文献番号	Vehicle	Suspension	Load	Grms 値 (上下方向)	Grms 代表値	Air 補正後 Grms 代表値	実測 Grms 国代表値
Bolivia							0.43
Bolivia 1	トレーラー (25 tons?)	Leaf	2 tons	0.43	0.43	0.43	
Brazil							0.63
Brazil 1	6tonsトラックと26tonsトレーラーの複合	Leaf	0.5~26tons	0.63	0.63	0.63	
China							0.43
China 1	トレーラー	Leaf	Half Loaded (詳細不明)	0.11	0.15	0.15	
	トレーラー	Leaf	Half Loaded (詳細不明)	0.20	0.15	0.15	
China 2	Open トレーラー	Leaf	Half Loaded (詳細不明)	0.15	0.15	0.15	
	Open トレーラー	Leaf	Half Loaded (詳細不明)	0.16	0.15	0.15	
China 3	Street Truck (2-4 tons)	Leaf	Empty	0.92	0.65	0.65	
	Street Truck (2-4 tons)	Leaf	Fully Loaded (詳細不明)	0.20	0.65	0.65	
	Closed Truck (7 tons)	Leaf	Half Loaded	0.78	0.65	0.65	
	Closed Truck (7 tons)	Leaf	Fully Loaded	0.48	0.65	0.65	
	Closed Truck (5 tons)	Leaf	Fully Loaded	0.93	0.65	0.65	
	Closed Truck (5 tons)	Leaf	Half Loaded	0.88	0.65	0.65	
China 4	Closed Truck (7 tons)	Leaf	Over Loaded (14 tons)	0.38	0.65	0.65	
	11' Small Truck (2-4 tons)	Leaf	Light Load (詳細不明)	0.39	0.27	0.27	
	35' トレーラー	Leaf	Heavy Loaded (詳細不明)	0.20	0.27	0.27	
	UPS Feeder	Leaf	?	0.23	0.27	0.27	
India							0.29
India 1	トラック	Leaf	5~6tons	0.15	0.15	0.15	
India 2	トラック	Air-ride	?	0.15	0.15	0.36	
	トラック	Air-ride	?	0.16	0.15	0.36	
Japan							0.19
Japan 1	14tons トラック	Air-ride		0.06	0.06	0.14	
Japan 2	トレーラー	Air-ride	13 tons	0.10	0.10	0.25	
Mexico							0.38
Mexico 1	トレーラー	Leaf	?	0.27	0.27	0.27	
	トレーラー	Air-ride	?	0.21	0.21	0.50	
Spain							0.23
Spain 1	トラック	Air-ride	4tonsの1/3積載	0.13	0.12	0.28	
	トラック	Air-ride	10tons 2 連の後半分積載	0.11	0.12	0.28	
Spain 2	トラック	Air-ride	Empty	0.09	0.09	0.21	
	トラック	Air-ride	21 tons	0.09	0.09	0.21	
	トラック	Leaf	Empty	0.25	0.22	0.22	
	トラック	Leaf	3 tons	0.19	0.22	0.22	
Spain 3 (Spain to Sweden)	トラック	Air-ride	0.66 tons	0.09	0.09	0.21	
Thailand							0.31
Thailand 1	小型トラック	Leaf		0.22	0.22	0.22	
	4.8m 冷蔵トレーラー	Leaf	0.72 tons	0.31	0.34	0.34	
	4.8m 冷蔵トレーラー	Leaf	7.2 tons (Full)	0.29	0.34	0.34	
	7.1m 冷蔵トレーラー	Leaf	4 tons	0.36	0.34	0.34	
Thailand 2	7.1m 冷蔵トレーラー	Leaf	15 tons (Full)	0.40	0.34	0.34	
UK							0.27
UK 1	Van	Leaf	Empty	0.30	0.30		
	Van	Leaf	Empty	0.28	0.28		
	Van	Leaf	Empty	0.22	0.22		
USA							0.41
USA 1	26tons トレーラー	Air-ride	21tons	0.28	0.19	0.44	
	26tons トレーラー	Air-ride	21tons	0.15	0.19	0.44	
	26tons トレーラー	Leaf	21tons	0.66	0.45	0.45	
	26tons トレーラー	Leaf	21tons	0.35	0.45	0.45	
USA 2	??tons トレーラー	Air-ride	??tons	0.25	0.17	0.39	
	??tons トレーラー	Air-ride	??tons	0.15	0.17	0.39	
USA 3	LTL ??tons トレーラー	Leaf	??tons	0.34	0.37	0.37	
	LTL ??tons トレーラー	Leaf	??tons	0.33	0.37	0.37	
	Pup トレーラー	Leaf	??tons	0.44	0.37	0.37	

・文献番号 USA 1 において, リーフサスペンションとエアサスペンションのトレーラーの Grms 値を, 同じ条件で比較している。そこから計算すると, リーフサスペンションの Grms 値が, エアサスペンションの Grms 値と比べて2.37倍であった。

・値を一つにまとめるため, 加速度の厳しい

方(リーフサスペンション)の数値に合わせた。

ただし、これは今後の規格化において Grms 値を一つにまとめた方がよい、と推奨しているわけではない。あくまで、本報告書における分析を行う上でデータをシンプルにする目的で行った補正である。

⑤ 最終的に、国としての「Grms 代表値」をひとつにまとめるため、リーフサスペンションの「Grms 代表値」とエアサスペンションの「補正後 Grms 代表値」を平均する。その結果を「国代表実測 Grms 値」とし、その後の分析に利用する。

【注意点】

本格的に実輸送振動計測を行うためには、車両、サスペンション、積載重量、取り付け位置などを統一し、また計測器の初期設定項目も合わせたデータが必要である。また本調査研究では、試験時間を短縮する加速促進試験の観点ではデータを分析していない。あくまで、文献から得られた輸送

表5 指標・指数一覧

項目	指標・指数	文献・レポート	発行者	有料?
主要経済	GDP, GDP per capita	World Economic Outlook	IMF	
	GNI, GNI per capita	World Development Indicators	WB	
競争力	Global Competitiveness Index (GCI)	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Enabling Trade Index (ETI)	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Logistics Performance Index (LPI)	World Development Indicators	WB	
	Logistics Performance Index (LPI)	Connecting to Compete	WB	
物流インフラ 全般 (荷扱い含む)	Basic Requirements	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Infrastructure (全体)	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Transport infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Quality of overall infrastructure (Transport)	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Transport and communications infrastructure	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Availability and quality of transport infrastructure	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Availability of transport infrastructure	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Transshipment connectivity index	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Quality of trade and transport related infrastructure	Connecting to Compete	WB	
	Ease of arranging competitively priced shipments	Connecting to Compete	WB	
	Competence and quality of logistics services	Connecting to Compete	WB	
	Ability to track and trace consignments	Connecting to Compete	WB	
	Frequency with which shipments reach the consignee within the scheduled or expected delivery time	Connecting to Compete	WB	
	% of shipments meeting quality criteria	Connecting to Compete	WB	
	Physical inspection	Connecting to Compete	WB	
	EBRD index of infrastructure reform	Transition Report	EBRD	
道路輸送	Quality of roads	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Paved roads	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Paved roads	World Development Indicators	WB	
	Paved roads	Key Indicators for Asia and the Pacific	ADB	
	Paved roads	World Road Statistics	IRF	YES
	Paved roads	Statistical Yearbook for Asia and the Pacific	UN ESCAP	
	Paved roads	The ASEAN Statistical Yearbook	ASEAN	
	ASEAN 各国主要道路の路面状況	JETRO ASEAN 物流ネットワークマップ	JETRO	YES
	ASEAN 各国主要道路の混雑度	JETRO ASEAN 物流ネットワークマップ	JETRO	YES
	道路の管理主体	World Road Statistics	IRF	YES
	道路別、管理者別関連支出額	World Road Statistics	IRF	YES
	International Roughness Index		WB	ほか
	Access to an All-Season Road (percent of rural population)	Key Indicators for Asia and the Pacific	ADB	
Port or airport supply chain Distance (export)	Connecting to Compete	WB		
Port or airport supply chain Lead time (export)	Connecting to Compete	WB		
Port or airport supply chain Distance (import)	Connecting to Compete	WB		
Port or airport supply chain Lead time (import)	Connecting to Compete	WB		
Land supply chain Distance (export)	Connecting to Compete	WB		
Land supply chain Lead time (export)	Connecting to Compete	WB		
Land supply chain Distance (import)	Connecting to Compete	WB		
Land supply chain Lead time (import)	Connecting to Compete	WB		
鉄道輸送	Quality of railroad infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF	
	ASEAN 各国主要鉄道路線	JETRO ASEAN 物流ネットワークマップ	JETRO	YES
飛行機輸送	Quality of air transport infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF	
	Quality of port infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF	
船舶輸送	Quality of port infrastructure	World Development Indicators	WB	
	Quality of Port Infrastructure	DataGov	IADB	
倉庫保管	Border administration	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Efficiency of import-export procedures	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Efficiency of the clearance process	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Time to import	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Time to export	The Global Enabling Trade Report	WEF	
	Lead time to import	World Development Indicators	WB	
	Lead time to export	World Development Indicators	WB	
	Efficiency of the clearance process	Connecting to Compete	WB	
温湿度	Clearance time (days)	Connecting to Compete	WB	
	世界の月別平均気温、降水量	気象庁 HP	JMA	
	世界の月別平均気温、降水量	世界気象機構 HP	WMO	
	世界の月別平均気温、降水量	NOAA Monthly Climatic Data for the World	NOAA	

振動の実測 Grms 値を利用して、一般に入手可能な統計データによって未知の輸送振動 Grms 値を推定する方法について検討している。

6.3 Grms 値をまとめた結果

6.2節で説明した方法に従って、文献データか

表6 絞り込んだ指標・指数一覧

項目	No.	指標・指数	出典	発行者
主要経済	1	GDP	World Development Indicators	WB
	2	GDP per capita	World Development Indicators	WB
	3	GNI	World Development Indicators	WB
	4	GNI per capita	World Development Indicators	WB
競争力	5	Global Competitiveness Index (GCI)	The Global Competitiveness Report	WEF
	6	Logistics Performance Index (LPI)	World Development Indicators	WB
物流インフラ全般	7	Quality of overall infrastructure (Transport)	The Global Competitiveness Report	WEF
	8	Availability and quality of transport infrastructure	The Global Enabling Trade Report	WEF
道路輸送	9	Quality of roads	The Global Competitiveness Report	WEF
	10	Paved roads	World Development Indicators	WB
鉄道輸送	11	Quality of railroad infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF
飛行機輸送	12	Quality of air transport infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF
船舶輸送	13	Quality of port infrastructure	The Global Competitiveness Report	WEF
倉庫保管	14	Lead time to import	World Development Indicators	WB
	15	Lead time to export	World Development Indicators	WB

表7 指標・指数間の相関行列

	実測 Grms 値	国土の広さ (thousand km ²)	GDP 2011 (\$ Billions) (PPP 換算なし)	GDP per Capita (\$) (PPP 換算なし)	LPI 2012	GNI (\$ Billions) (PPP 換算なし)	GNI per Capita (\$) (PPP 換算なし)	GCI 2012-13	Quality of overall infrastructure	Quality of roads	Quality of railroad infrastructure	Quality of port infrastructure	Quality of air transport infrastructure	Paved roads (%)	Total Road Network (km)	Lead time to export (days) (WDI 6.9)	Lead time to import (days) (WDI 6.9)
実測 Grms 値	1																
国土の広さ (thousand km ²)	0.7016	1															
GDP 2011 (\$ Billions) (PPP 換算なし)	0.1007	0.6837	1														
GDP per Capita (\$) (PPP 換算なし)	-0.3975	-0.0274	0.5896	1													
LPI 2012	-0.4585	0.0738	0.5671	0.8483	1												
GNI (\$ Billions) (PPP 換算なし)	0.0478	0.6092	0.9880	0.6486	0.5770	1											
GNI per Capita (\$) (PPP 換算なし)	-0.4247	-0.0590	0.5607	0.9886	0.8419	0.6394	1										
GCI 2012-13	-0.3626	0.1609	0.6964	0.8653	0.9539	0.7141	0.8578	1									
Quality of overall infrastructure	-0.7017	-0.2570	0.3997	0.8419	0.8792	0.4500	0.8516	0.8167	1								
Quality of roads	-0.7286	-0.2795	0.3018	0.7790	0.8178	0.4399	0.7969	0.7704	0.9855	1							
Quality of railroad infrastructure	-0.7300	-0.1893	0.3068	0.6913	0.7263	0.4045	0.6901	0.6606	0.7505	0.7390	1						
Quality of port infrastructure	-0.7494	-0.2680	0.3815	0.7423	0.7899	0.4413	0.7943	0.7417	0.9426	0.9624	0.7702	1					
Quality of air transport infrastructure	-0.7762	-0.3471	0.2599	0.6944	0.7080	0.3308	0.6611	0.6451	0.8996	0.9237	0.6257	0.9548	1				
Paved roads (%)	-0.7807	-0.3971	0.1228	0.5330	0.7360	0.1684	0.5764	0.6141	0.8731	0.8768	0.6186	0.8837	0.9416	1			
Total Road Network (km)	0.1969	0.7717	0.8182	0.1979	0.2762	0.7975	0.1894	0.3659	0.0425	0.0272	0.2244	0.1094	0.0638	-0.0661	1		
Lead time to export (days) (WDI 6.9)	0.2305	-0.1696	-0.2755	-0.3021	-0.6447	-0.2505	-0.2983	-0.5627	-0.4920	-0.4315	-0.2401	-0.3586	-0.4489	-0.4865	-0.2714	1	
Lead time to import (days) (WDI 6.9)	0.2028	-0.1901	-0.3015	-0.3514	-0.7031	-0.2734	-0.3279	-0.6355	-0.5239	-0.4656	-0.2513	-0.4010	-0.4647	-0.5059	-0.2418	0.9840	1

ら抽出した輸送振動の実測 Grms 値から、各国の「国代表 実測 Grms 値」を算出した結果を表4に示す。

データをまとめる際に、いくつか特別な取扱いをしたので、以下に説明する。

- ・Brazilのデータには「トリガーレベルを0.25Gとする加速度トリガー計測だった」との記載があり、平均 Grms 値が実際よりも高めに出ている可能性がある。しかし、他に参照できるデータがなかったため、文献のデータをそのまま利用した。
- ・Spainのデータには、SpainからSwedenまでの輸送振動データ (Spain 3) も含んだ。
- ・UKのデータは、車両がVanとなっているが、他に有効なデータがなかったこともあり、本調査研究用として暫定的に文献の数値をそのまま利用した。

- ・USA 1は、Grms値が上位30%のイベントとその他70%を分けて、それぞれの平均PSDおよびGrms値を求めている。「Grms代表値」を求める際は、それらのデータを加重平均して再構成した。
- ・USA 2は、Grms値が上位20%のイベントとその他80%を分けて、それぞれの平均PSDおよびGrms値を求めている。「Grms代表値」を求める際は、それらのデータを加重平均して再構成した。

7. 大きな有効性が見込まれる指標・指数の絞込み

7.1 絞込みの基準

事前調査でまとめられた指標・指数一覧を、表5に示す。

この中から、以下の基準に従って一次絞込み

を行った。

・直感的にも似たような指標・指数の場合、より一般的なものを採用する。

・一次情報である。

ただし、WEFのGlobal Competitiveness Index (GCI) と WB の Logistics Performance Index (LPI) は、いくつかのサブ指標・指数を合成しているため一次情報ではないが、指数として残し影響を確認することにした。

7.2 絞り込まれた指標・指数（一次絞り込み）

7.1節の基準により、表5から絞り込んだ指標・指数の一覧を表6に示す。「総合的な国力」、「インフラの質」、「貿易の行いやすさ」に関わる指標・指数となっている。

最終的には、ここで絞り込まれた指標・指数は、重回帰分析を行う中でさらに消し込みされる。

8. 重回帰分析の実行

輸送振動の実測 Grms 値（国代表 実測 Grms 値）を目的変数、一般に入手可能な指標・指数を説明変数として重回帰分析を行い、物流環境が実測できない国や地域における Grms 値を予測する重回帰式を導出する。

8.1 相関行列

7.2節で絞り込んだとはいえ、まだ重回帰分析を行うには説明変数となる指標・指数の数が15と多く残っている。これら指標・指数の中には、そもそもお互いが強い相関や従属関係をもっている場合があり、そのまま重回帰分析を行うと多重共線性によって分析結果が不安定になってしまう。そのため、まずこれら指標・指数間の相関を相関行列によって調べ、相関の強い指標・指数についてはどちらか一方を削除した。15の指標・指数間の相関行列を、表7に示す。

表7中、相関係数の絶対値が0.8を超える関係がある説明変数を、目的変数との相関も配慮し

表8 最終的に絞り込んだ指標・指数の相関行列

	実測 Grms 値	国土の広さ (thousand km ²)	Quality of railroad infrastructure	Total Road Network (km)	Lead time to import (days) (WDI 6.9)
実測 Grms 値	1				
国土の広さ (thousand km ²)	0.7016	1			
Quality of railroad infrastructure	-0.7500	-0.1893	1		
Total Road Network (km)	0.1969	0.7717	0.2244	1	
Lead time to import (days) (WDI 6.9)	0.2028	-0.1901	-0.2513	-0.2418	1

ながら調整し、さらに絞り込んでいく。

8.2 説明変数の絞り込み

多重共線性に注意しながら、相関行列と重回帰分析の試行（変数減少法を採用）によって説明変数の消し込みを行い、最終的に絞り込んだ指標・指数を表8に示す。この結果は、個々の指標・指数の一般的な重要性を反映しているわけではなく、あくまで今回利用したデータ（輸送振動の Grms 値の計測結果を任意にまとめ、「国代表 実測 Grms 値」としたものを）を目的変数とし、それをうまく説明する変数であるかどうか、という基準で行われている。また、今回は目的変数の数が10個と少ないため、それに合わせて説明変数の数も絞り込んでいる。

「国土の広さ」と「Total Road Network」の相関係数が0.7717と高くなっているが、次の8.3節で述べる理由のため、この二つの変数を残すことにした。

8.3 重回帰式の導出

最終的に絞り込んだ四つの指標・指数を説明変数とし、輸送振動の Grms 値を目的変数 y とした重回帰分析の結果、導出された重回帰式は式1のようになる。

$$y = (3.08E-05)x_1 + (-0.0356)x_2 + (-2.5E-08)x_3 + (0.0029)x_4 + 0.423 \quad (\text{式1})$$

y : 予測 Grms 値

x₁ : 国土の広さ (1,000km²)

x₂ : 鉄道インフラの質

x₃ : 総道路ネットワーク

x₄ : 輸入リードタイム

この重回帰式の自由度調整済み決定係数（補正R²）は0.93であり、重回帰式そのもののあてはまりは、非常に良いといえる。

x_3 の総道路ネットワーク (Total Road Network) は、表8において目的変数との単相関係数が正であるのに対し、式1での偏回帰係数が負である。多重共線性が生じている可能性もあるが、もともと重

回帰分析の目的変数として採用している値 (国代表 実測 Grms 値) が仮の値であり、ここでは精度の高い重回帰式を導出すること自体を目的とはしていないため、この2変数の取扱いについてこれ以上深く検証しない。また、Total Road Networkに関しては、以下の解釈をすることもできるため、このまま残すと判断した。

「Grms 値と国土の広さに正の相関」があり、「Grms 値と Total Road Network にも正の相関がある」場合、普通に考えれば重回帰式における Total Road Network の偏回帰係数はプラスになる (Total Road Network 値が大きい国では Grms 値も大きくなる)。しかし、仮に「国土の広さが同じ国」同士を比べた場合、「Total Road Network の値が大きい方がインフラの質が高い (そのため Grms 値は小さくなる)」とも解釈できる。

参考までに、このまま変数減少を継続し、「国土の広さ」と「Quality of railroad infrastructure」の2説明変数だけを残して分析を行うと、変数間の相関に関する問題もなく、自由度調整済み決定係数 (補正R2) も0.86というあてはまりの良い重回帰式が得られる。

各説明変数間の関係の詳細な検証方法については、今後有効なデータが揃ってから、改めて議論が必要である。

8.4 実測値との比較

8.3節で導出された重回帰式を使って予測した、10カ国の国代表 実測 Grms 値と、今回利

表9 予測 Grms 値と実測 Grms 値の比較と区分例

国名	国土の広さ (thousand km ²)	Quality of railroad infrastructure	Total Road Network (km)	Lead time to import	予測 Grms 値	実測 Grms 値
Bolivia	1,099	3.0	62,479	28.3	0.43	0.43
Brazil	8,515	1.8	1,751,868	3.9	0.59	0.63
China	9,600	4.6	3,730,164	2.6	0.47	0.43
India	3,287	4.4	4,236,429	5.3	0.28	0.29
Japan	378	6.6	1,200,858	1.0	0.17	0.19
Mexico	1,964	2.8	366,096	2.5	0.38	0.38
Spain	505	5.7	667,064	7.1	0.24	0.23
Thailand	513	2.6	180,053	2.6	0.35	0.31
United Kingdom	244	5.0	419,634	1.9	0.25	0.27
United States	9,832	4.8	6,506,221	4.0	0.41	0.41
平均					0.36	0.36
標準偏差 σ					0.13	0.13
-1 σ					0.23	0.23
+1 σ					0.48	0.48

用した実測データを比較したものを表9に示す。予測 Grms 値の大きさは、例えば標準偏差 (σ) を使うと次の三つに区分できる。

- 10カ国平均 + 1 σ より大きい (厳しさ1)
- 10カ国平均 \pm 1 σ の間 (厳しさ2)
- 10カ国平均 - 1 σ より小さい (厳しさ3)

Spain 以外は、予測値・実測値とも同じ区分になっている。この区分自体が適切であるかどうかについては、さらなる議論や分析が必要である。しかし、例えば現在のISO 4180規格における試験区分 (試験厳しさ1~3) を選択する際の定量的な基準として、今回のような予測 Grms 値 (または今後開発されるかもしれない他の予測値) が利用できる可能性もある。試験レベルの区分可能性の検討については、9章で再度取り上げる。

8.5 本分析における留意事項

8.3節で導出された重回帰式は、精度の高い予測ができるように見えるが、説明変数の選択の問題以外にも、以下のような点に留意しなければならない。

- ・分析のベースとなるデータ数 (国別の Grms 値) が10と少ない
- ・算出した Grms 代表値は、さまざまな車両の条件を任意の方法でミックスしたものである
- ・車両振動の周波数特性 (PSD) までは考慮していない
- ・鉄道輸送振動の実測データが少なかったため、トラック・トレーラーのデータのみ使用

して分析した結果である

したがって、本調査研究においては、8.3節で導出された重回帰式そのものが今後他国の輸送振動のGrms値を予測するために使えるかどうか、という観点ではなく、あくまでこのような手法に有効性があるかどうかを検討するのが目的であることを、ここに改めて強調しておく。当然ながら、今後計測される輸送振動データによって、重回帰式に組み込まれるべき説明変数やそれらの係数も変化し、重回帰式そのものがまったく異なってくる可能性があることは、容易に想像できる。

6.1節で述べた通り、輸送振動の周波数特性を知る上で重要な情報であるPSDは推定できない。代表的なPSD形状のみ別途決めておき、それに試験レベル区分ごとのGrms値を組み合わせることで運用することなどが想定される。

将来的に鉄道輸送振動のデータが蓄積されれば、トラック・トレーラーの輸送振動を推定したのと同様な手順でGrms値を推定することはできるだろう。自社の貨物がどのような輸送モードで運ばれているのかについて把握することが難しい中小企業などにとっては、一般的に入手可能な鉄道貨物量や鉄道路線の総延長距離などの情報から、「この地域では鉄道輸送が行われる可能性が高い」と判断し、試験シーケンスに組み込むようにする、といった利用方法も考えられる。

分析そのものは、統計分析専用ソフトウェアによって行うことも可能だが、本調査研究では汎用性を考慮し、マイクロソフト社の表計算ソフト「エクセル」でできることを前提としている。しかしながら、今後さらに踏み込んだ分析が必要になる場合は、統計分析専用ソフトウェアの活用も検討する必要がある。

8.6 落下衝撃を推定するための手法について

落下衝撃を推定する場合も、基本的には輸送振動と同じような手順となる。経験上、荷扱いの落下高さは非常にばらつきの大きいデータと

なることが分かっており、かつ落下試験の回数や落下方向などの情報も試験条件に組み込む必要があるため、試験条件としての落下高さそのものを推定するよりもむしろ、8.4節やこの後の9章で取り上げているように、試験レベルの区分のために利用できるのではないかと考える。

また、落下衝撃（荷扱いの粗さ）推定のため追加で説明変数となりそうなものには、次のようなものが挙げられる。ただし、説明変数間の相関分析を行う中で、他の変数（例えば1人当たりGNIなど）と強い相関を示す可能性も高いので、慎重な取舍選択が必要である。

- ・労働者の賃金レベル（運送、港湾オペレーション、倉庫など）
- ・教育レベル（国民の高等教育修了者の比率など）

落下衝撃の場合は、輸送モードや貨物の形態によって数値が大きく変動するため、実測する際は輸送振動と同様に、計測方法・条件を統一することが非常に重要である。

8.7 圧縮試験のための、負荷係数推定手法について

貨物（特に段ボール包装貨物）の圧縮強度の劣化と、それに伴うダメージに大きく影響を与える要因としては、上からの荷重に加えて、温湿度、保管日数、輸送中の振動・衝撃などが考えられる。また、極端な温湿度環境から貨物を守るための、倉庫等の輸送インフラの質も重要である。

圧縮に関しては、本調査研究で重回帰分析の目的変数として利用した、輸送振動の実測Grms値のような数値データの入手が困難であったため、振動と同様の分析は行えないが、温湿度、輸出入のリードタイム（保管日数）、輸送インフラの質等の指標・指数を利用して、負荷係数を算出する式を導くことはできるかもしれない。輸送環境調査によって動的圧縮荷重とそれによる圧縮ダメージの計測を行った例は、まだあまり報告されていない。圧縮試験に利用される負荷係数を推定するためには、指標・指数の選択

表10 実測データがない国20カ国の説明変数

国名	国土の広さ (thousand km ²)	Quality of railroad infrastructure	Total Road Network (km)	Lead time to import
Argentina	2,780	1.7	231,374	3.8
Australia	7,741	4.3	818,356	2.8
Egypt	1,001	3.1	104,918	3.1
France	549	6.3	951,200	4.5
Germany	357	5.7	644,288	2.4
Hungary	93	3.5	197,534	5.0
Indonesia	1,905	3.2	437,759	5.4
Netherlands	42	5.7	136,135	1.9
Qatar	12	5.5	7,790	2.3
Peru	1,285	1.9	102,887	3.8
Philippines	300	1.9	200,037	5.0
Poland	313	2.4	383,313	3.6
Romania	238	2.2	198,817	2.0
Russian Federation	17,098	4.2	963,000	2.9
Saudi Arabia	2,000	3.7	221,372	6.3
South Africa	1,219	3.4	362,099	3.3
Sweden	450	4.7	574,741	2.6
Turkey	784	3.1	426,951	3.8
Uruguay	176	1.3	77,732	3.0
Vietnam	331	2.6	160,089	1.7

重回帰係数	3.07893E-05	-0.035601646	-2.45919E-08	0.002864145
切片	0.42345352			

* Qatar の Quality of railroad infrastructure は、Quality of overall infrastructure 値を代用

に加えて、段ボール箱強度に関する基礎データや経験則にしたがった重み付けが必要になるだろう。

9. 試験レベルの区分可能性の検討

ここでは、導出された重回帰式を用い、実測データがない国での輸送振動 Grms 値を予測する。指標・指数が入手可能な国を、各地域から任意に20カ国抜き出す。その結果から、8.3節で述べた方法で、振動試験レベルの区分可能性を検討する。

表10に、実測データがない国20カ国の説明変数(指標・指数)と各係数を示す。また、表11に、20カ国の予測Grms値と、標準偏差(σ)を使った区分の結果を示す。

本調査研究によって導出された重回帰式によれば、20カ国の予測 Grms 値の平均は0.36、標準偏差は0.13となった。「予測 Grms 値」の列の試験厳しさ基準は、8.3節で述べた方法(下記)の通りである。

【試験厳しさ基準】

予測 Grms 値の大きさを、標準偏差(σ)を使って次の三つに区分する。

20カ国平均 + 1σより大きい (厳しさ1)

表11 予測 Grms 値による試験レベル区分例

国名	予測 Grms 値	厳しさ
Argentina	0.45	2
Australia	0.50	1
Egypt	0.35	2
France	0.21	3
Germany	0.22	3
Hungary	0.31	2
Indonesia	0.37	2
Netherlands	0.22	3
Qatar	0.23	2
Peru	0.40	2
Philippines	0.37	2
Poland	0.35	2
Romania	0.35	2
Russian Federation	0.78	1
Saudi Arabia	0.37	2
South Africa	0.34	2
Sweden	0.26	2
Turkey	0.34	2
Uruguay	0.39	2
Vietnam	0.34	2
平均(厳しさ2)	0.36	
標準偏差σ	0.13	
-1σ(厳しさ3)	0.23	
+1σ(厳しさ1)	0.48	

20カ国平均 ± 1σの間 (厳しさ2)

20カ国平均 - 1σより小さい (厳しさ3)

予測 Grms 値の分布は、文献から実測データを引用した10カ国の結果と非常に近いものとなった(四捨五入し小数点以下第2桁で丸めると、全く同じ値であった)。このことから、精度が高く十分な数の実測データを得ることができれば、重回帰式から算出した予測値によって、試験レベルの区分をすることも可能になると考えられる。

10. まとめ

事前調査の結果を踏まえ、一般に入手可能な指標・指数から物流環境を推定する方法について試行し、検討を行った。本調査研究では、物流環境として文献から輸送振動の実測 Grms 値データを抽出し、その値を一般に入手可能な指標・指数から重回帰分析を行うことで推定した。これにより、以下を確認した。

- 適切な説明変数を抽出することにより、重回帰分析で精度の高い予測をすることは可能である。ただし、目的変数として使用した実測 Grms 値は、車両の大きさやサスペンション、

積載重量の違いや、データ計測に使用した計測器とそれらの設定の違いにより、一貫性をもったデータとはいえないため、本調査研究で導出された重回帰式は、あくまで参考として利用すべきである。

- 予測値そのものを試験条件として使わなくても、既存の「厳しさレベル」の決定用として利用できる可能性がある。
- 予測の精度を上げるためには、十分な実測データサンプル数が必要である。
- 本調査研究による方法では、振動試験条件を構築するために重要なPSDプロファイルは推定できない。車種ごとの代表的PSDプロファイルを別途決めておく必要がある。
- 落下衝撃を推定する場合も、基本的には輸送振動と同じような手順が利用できると思われる。試験条件としての落下高さそのものを推定するよりもむしろ、試験レベルの区分のために利用できるだろう。
- 圧縮に関しては、段ボール箱強度に関する基礎データと経験則から指標・指数を選択し、重み付けをして負荷係数算出に利用できる可能性がある。

以下のような課題も挙げられる。事前調査で「実務的課題」として指摘された「実測データの収集・分析をどのような手段で行うのか？」がよりクローズアップされている。

- 精度の高い予測値を得るためには、統一され

た条件・方法によって十分な量の実測データを取得し、回帰モデルを作成する必要がある。具体的にどのようにして実測データを取得するのか？（振動、落下衝撃とも同様）

- 予測値の精度を確認するため、いくつかの国で実輸送による実証試験も必要となるだろう。説得力のあるデータを得るための時間と費用をどこがどう負担するのか？

ほかにも、事前調査で指摘された、「そもそもこのアプローチが他国に受け入れてもらえるかどうか、または受け入れられるにはどうしたらよいか。」という課題についても、引き続き考えていかななくてはならない。

改めて、一般に入手可能な指標・指数を参考にした試験方法の開発は有効である、といえるが、開発のための十分な実測データをいかにして取得するか、が今後の大きな検討事項である。

謝辞

本報告内容は、ISO/TC 122国内対策委員会第一分科委員会において、検討が行われた成果をとりまとめたものである。

この調査研究は、経済産業省の平成24年度の委託規格開発事業として、株式会社三菱総合研究所より委託を受け、当協会が設けたISO/TC 122国内対策委員会で行った調査・研究の成果をまとめたものである。