

技術報告

地理情報システムを用いた輸送環境調査 ～インド国内物流を事例として～

渡部 大輔*、松井 一**、百田 大輔***、生貝 友哉****

Evaluation of Shipping Environment using Geographic Information System- a Case Study in India-

Daisuke WATANABE* , Hajime MATSUI** , Daisuke MOMOTA*** and Yuya IKEGAI****

近年、経済発展の著しいインドにおいて、物流インフラの整備水準の低さとそれに起因する輸送品質の低さが問題とされている。本論文ではインドの国内物流に焦点を当て、物流の現状把握とともに、インドでのトラック走行を通じた輸送環境について、GPSを用いた位置情報、速度の取得と加速度計を用いた衝撃情報の取得による定量的調査とともに、追走車両からの目視による定性的調査を行う。そして、位置情報と速度、衝撃の関係について、時刻をキーとして地理情報システムを用いて、地図上に輸送環境を「見える化」することで、輸送上の問題地点の抽出や区間毎の評価を行う。

In recent years, the economies in India is rapidly growing, but the low level of logistics infrastructure and shipping quality have become a problem. In this study, the current status of logistics in India is investigated and shipping environment of land transportation is evaluated by the quantitative survey using small-sized shock logger and GPS logger at the truck and the qualitative survey by visual survey from the following vehicle. The points of problem on the route were picked up and the shipping environment was evaluated using Geographic Information System which can visualize the relationship between location information, truck speed, and shock levels using time as the key criteria.

キーワード: 輸送環境、地理情報システム、GPS、衝撃記録計、インド

Keywords : Shipping Environment, Geographic Information System, GPS, Shock Logger, India

* 連絡者 (Corresponding author) , 東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)
Tokyo University of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8533, Japan,
Tel&Fax: 03-5245-7367, E-mail: daisuke@kaiyodai.ac.jp

** 日本財産保険(中国)有限公司 Sompo Japan Nipponkoa Insurance (China) Co., Ltd

*** 損保ジャパン日本興亜タイランド Sompo Japan Nipponkoa Insurance(Thailand) Plc.

**** 損害保険ジャパン日本興亜株式会社 Sompo Japan Nipponkoa Insurance Inc.

1. はじめに

近年、経済のグローバル化が進み、経済発展の著しい新興国において、豊富な労働力による生産拠点とともに、巨大な消費市場としても注目を浴びている。中でも、南アジアに位置するインドは、中国に続く世界第2位の人口約12億人を抱えており、BRICs（ブラジル・ロシア・インド・中国）の一角として、今後の更なる経済成長が期待されている一方、世界第7位の国土面積約328万km²の広大な国土において、生産、消費を支える物流インフラの整備水準の低さとそれに起因する輸送品質の低さが問題とされている^{1,2)}。

そこで、貨物が状態を保たれて目的地まで輸送されているかどうかを確認するために、輸送経路全体における輸送環境の調査を行うことで、輸送中の貨物が、振動、衝撃、圧縮、温度、湿度などの外力をどの程度受けているのかを把握する必要がある。一方で、情報通信技術の進化に伴い、衝撃加速度や温度・湿度などの輸送環境を記録するデータロガーの小型化・大容量化が進むとともに、人工衛星を利用したGPSにより全世界的に位置情報の取得が可能となった。つまり、地理情報システムを用いることで、「いつ、どこで、どのような」環境で輸送されてきたのかを、安価かつ容易に把握することが可能となったことから、従来の調査員による目視による調査に加えて、輸送環境に関する様々なデータ取得の自動化、精緻化されることが期待されている。しかし、これまでに、位置情報を活用した輸送環境調査に関する研究事例^{3,4)}は非常に限

られている上、目視による定性的調査との関係性が明らかにされていない。

本論文ではインドの国内物流に焦点を当て、物流インフラの水準の現状把握とともに、インドでのトラック走行を通じた輸送環境について、GPSを用いた位置情報、速度の取得と加速度計を用いた衝撃情報の取得による定量的調査とともに、追走車両からの目視による定性的調査を行う。そして、位置情報と速度、衝撃の関係について、時刻をキーとして地理情報システムを用いて、地図上に輸送環境を「見える化」することで、輸送上の問題地点の抽出や区間毎の評価を行う。更に、機器による定量的調査と目視による定性的調査との比較を行うことで、両調査の特性の違いを把握する。

2. インドにおける物流の現状

インド国内における道路インフラについて、インド道路交通省が中心となり、国道整備計画（National Highway Development Program）に基づき、4大主要都市であるDelhi、Kolkata、Mumbai、Chennaiを結ぶ「黄金の四角形」（Golden Quadrilateral）と呼ばれる全長約5,850kmに渡る高速道路網が2008年に完成し、続いて東西回廊及び南北回廊の約7,300kmの整備が進められている。その一方、全道路の約1/3が未だに未舗装であり、道路補修が十分でなく路面に多くの凸凹が多く見られる。

インド国内における主要都市間を対象とした振動計測において、鉄道、トラック輸送と

もに、既存の試験規格で想定しているレベルよりも強い振動加速度を計測している⁵⁾。また、日系企業を対象とした物流に関する調査において、「荷痛み・振動管理・荷扱い」が大きな問題点として挙げられており、特にトラック輸送においては、舗装が不十分で荷痛みが激しいこと、エアサスペンションがなく貨物ダメージが大きいことも課題として挙げられている¹⁾。

3. インドにおける輸送環境調査

3.1 調査の概要

調査の行程について、2013年5月中旬に、インドの首都Delhi近郊からRajasthan州東部を走行した。後述するGPSにより得られた結果を地図に表示するとFig.1のように、Haryana州GurgaonからRajasthan州Jhalawarに至るルートを行脚した。線分上の数値は、各走行時間帯である（以下、Fig. 5、7、8、9も同様）。各時間帯における走行の概要は、Table1のようになる。Gurgaonを15時ごろに出発し、初日は主に国道8号を走行しRajasthan州に入り、Jaipurにて停泊した。2日目は、主に国道12号線を走行し、Bundiにて停泊した。3日目は、引き続き国道12号線を走行し、13時過ぎにJhalawarに到着した。

3.2 調査内容

調査内容は Table2 のように走行と衝撃を対象として、トラックに設置したGPS（緯度、経度、標高、速度）と加速度計（衝撃加速度：上下、左右、前後）を用いた計測とともに、

トラックを追走する車両からのトラックの挙動に関する目視調査を行った。

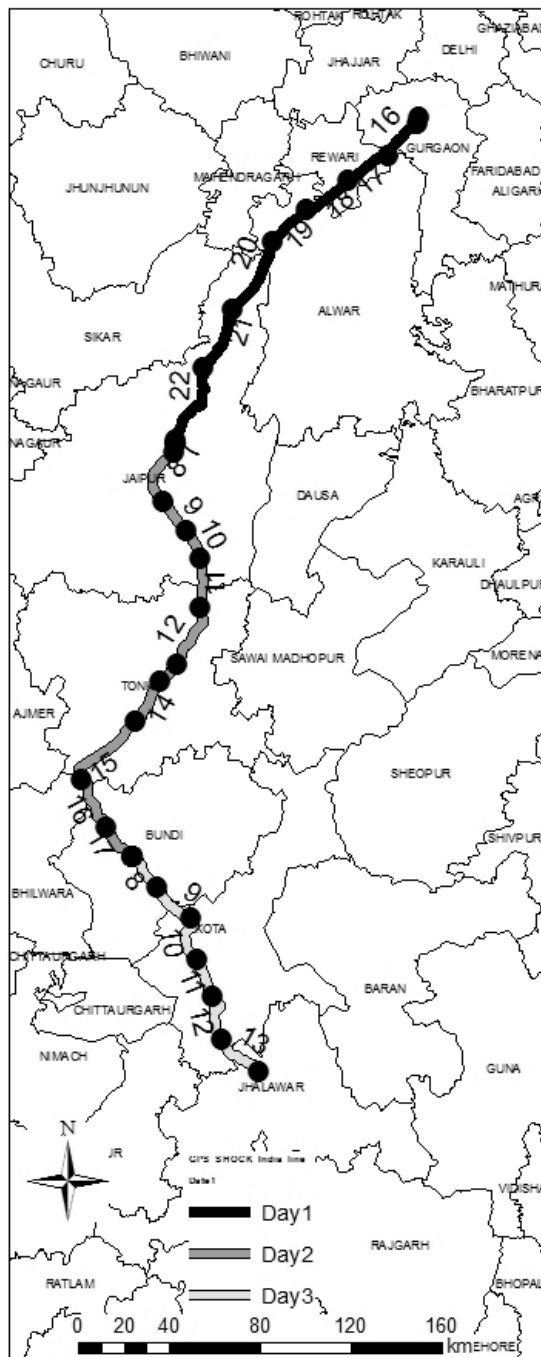


Fig.1 Map of Travel

実験に用いたトラックは Fig.2 のように 2 軸リーフ式サスペンションの車両を用い、Fig.3 のように GPS を運転室に、加速度計を前方バンパーに設置し、走行終了後にデータを回収した。

計測機器をトラックヘッドに設置した理由

として、GPS と加速度計を時刻で同期することから、なるべく同じ位置となることが望ましいことが挙げられる。なお、荷台に設置しなかった理由として、GPS を衛星からの信号を受信できないことが挙げられる。

計測機器について、計測時刻を揃えた上で

Table1 Detail of Travel

Date	Time	Number of Highway	Name of City	Distance (km)	Travel Time		Ratio of Running Time
					Running	Stopping	
5/15 (Day1)	15	8	Gurgaon	4.0	11.3	0.1	99%
	16	8	Gurgaon/Rewari	19.9	42.2	17.8	70%
	17	8	Rewari	21.5	45.4	14.6	76%
	18	8	Rewari/Alwar	22.6	42.2	17.8	70%
	19	8	Alwar	20.9	36.7	23.3	61%
	20	8	Alwar/Jaipur	35.9	60.0	0.0	100%
	21	8	Jaipur	30.8	51.4	8.6	86%
	22	8	Jaipur	38.5	52.1	7.9	87%
5/16 (Day2)	23	8	Jaipur	1.7	3.7	56.3	6%
	7	8	Jaipur	4.4	6.9	53.1	12%
	8	8/12	Jaipur	28.8	55.0	5.0	92%
	9	12	Jaipur	17.0	35.5	24.5	59%
	10	12	Jaipur	14.2	35.8	24.3	60%
	11	12	Jaipur/Tonk	22.1	51.3	8.8	85%
	12	12	Tonk	30.1	54.7	5.3	91%
	13	12	Tonk	10.7	18.6	41.4	31%
	14	12	Tonk	22.1	32.2	27.8	54%
	15	12	Tonk/Bhilwara	38.2	55.8	4.2	93%
5/17 (Day3)	16	12	Bhilwara/Bundi	25.9	47.6	12.4	79%
	17	12	Bundi	20.6	43.8	16.3	73%
	8	12	Bundi	19.1	41.2	18.8	69%
	9	12	Bundi/Kota	21.1	55.7	4.3	93%
	10	12	Kota	23.2	51.0	9.0	85%
	11	12	Kota	17.8	46.5	13.5	78%
	12	12	Kota	23.8	59.3	0.7	99%
	13	12	Kota/Jhalawar	24.3	49.3	9.7	84%
Total				559.2	1084.9	1685.5	39%



Fig.2 Overview of Truck

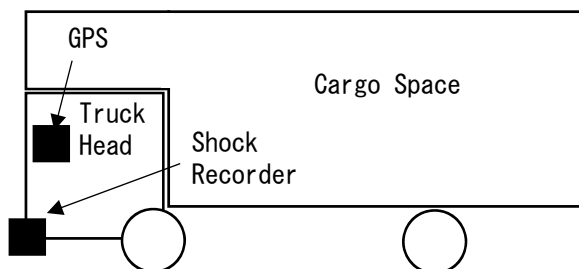


Fig.3 Installation of Devices at Truck

サンプリング間隔を一致させる必要がある⁷⁾。そこで、GPS と加速度計双方のデータの容量を考慮し、それぞれ 5 秒毎に記録した。GPS による移動記録から、時速 1km/h 未満を記録した地点を停車中と見なした。加速度計の概要は Table3 のようになる。

目視調査について、走行状況記録と動揺状況記録を行った。走行状況記録については、追跡車両からトラックの走行と停車の動静状況を記録するとともに、Table4 のような走行中の道路の状況を分単位で記録した。動揺状況記録は、追跡車両から記録したビデオ画像を用いて、トラックの上下・左右・前後の各

方向に動揺回数を記録した。判断基準が同じになるよう、各調査はそれぞれ同一人物が作業を行った。

Table2 Types of Survey

Item	Data
GPS Logger	Location (Longitude, Latitude, Altitude), Travel Speed
Shock Logger	Acceleration (Vertical axis, Lateral axis, Horizontal axis)
Visual Survey	Road condition, Truck Movement

Table3 Specs of Shock Logger

Item	Description
Acceleration Range	-50G~+50G
Acceleration Resolution	0.1G
Sampling Rate	2ms

Table4 Rating of Road Condition

Surface	Lanes	Rating
Highly smooth	Two or more	3
Slightly rough	Two or less	2
Moderate rough	One lane or one way	1
Serious rough	One lane or two way	0

4. 計測結果

4.1 移動速度

GPSにより計測した各地点別の速度は Fig.4 のように、色が濃い円の地点において高速で走行している。国道8号上の Jaipur 北部と国道12号上の Tonk 南部で50km/h以上で高速で走行している。各時間帯における走行中の平均速度については、Fig.5 のように、色の濃い区間において高速で走行しており、Fig.4 と同様の傾向が見られる。

4.2 衝撃加速度

加速度計により計測した衝撃加速度について、各地点別の衝撃加速度の合成ベクトルは Fig.6 のように、色が濃い円の地点において強い衝撃を記録している。最大値を Tonk 北部で記録し、Jaipur 市街とともに、国道12号上の Bundi から Kota 南部において3G以上の比較的強い衝撃を連続的に受けている。

各時間帯における走行中の平均衝撃加速度については、Fig.7 のようになり、色の濃い区間で強い衝撃を記録しており、概ね Fig.6 と同じ傾向が見られる。しかし、最大値を記録した Tonk 北部においては、平均値は小さい。

Jaipur 市街においては計測値の高い地点が多く見られるものの、平均値は小さい。また、Kota 南部では計測値の高い地点が見られないものの、平均値が高い。つまり、局所的に強い衝撃を受ける地点と平均的に強い衝撃を受けている地点は異なることが分かる。

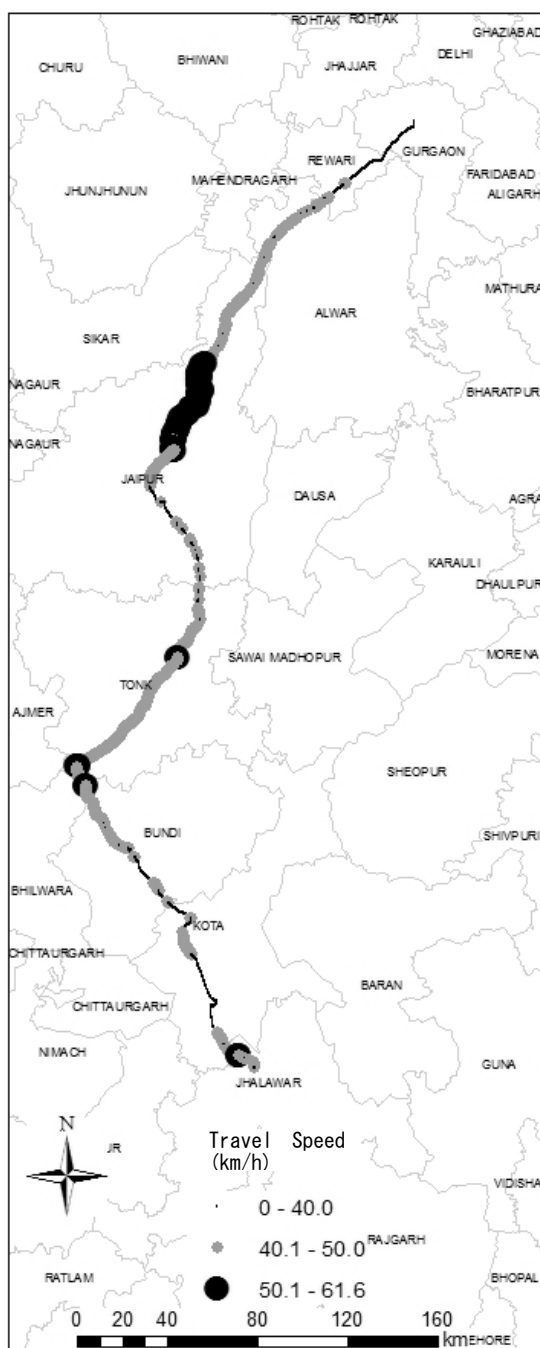


Fig.4 Travel Speed of each point

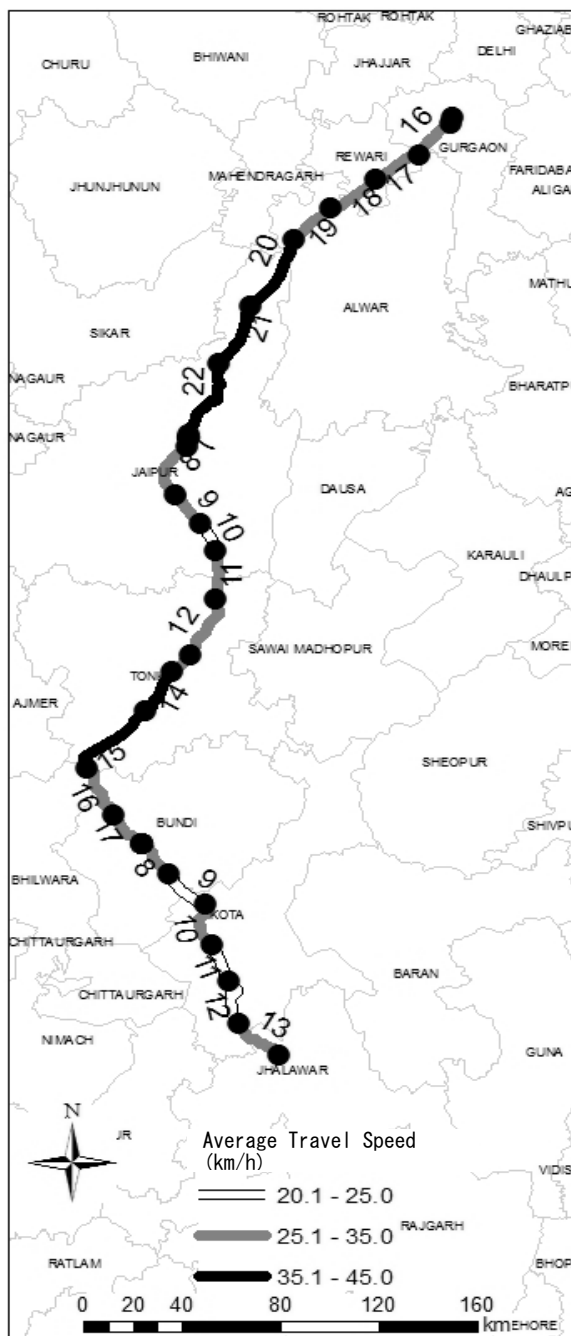


Fig.5 Average Travel Speed of each timeline

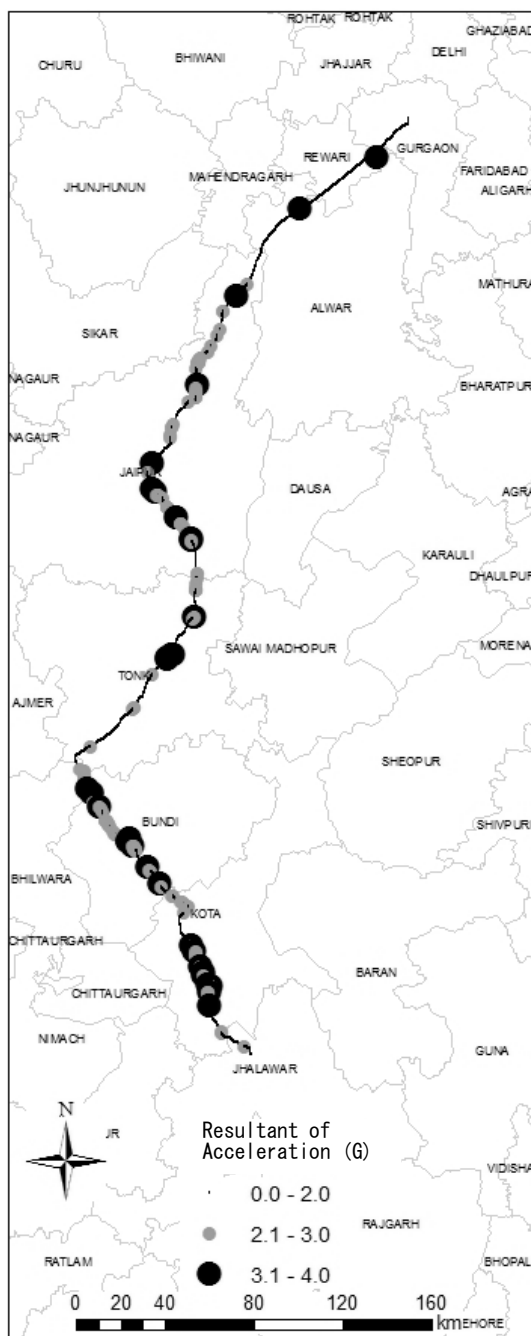


Fig.6 Resultant of Acceleration of each point

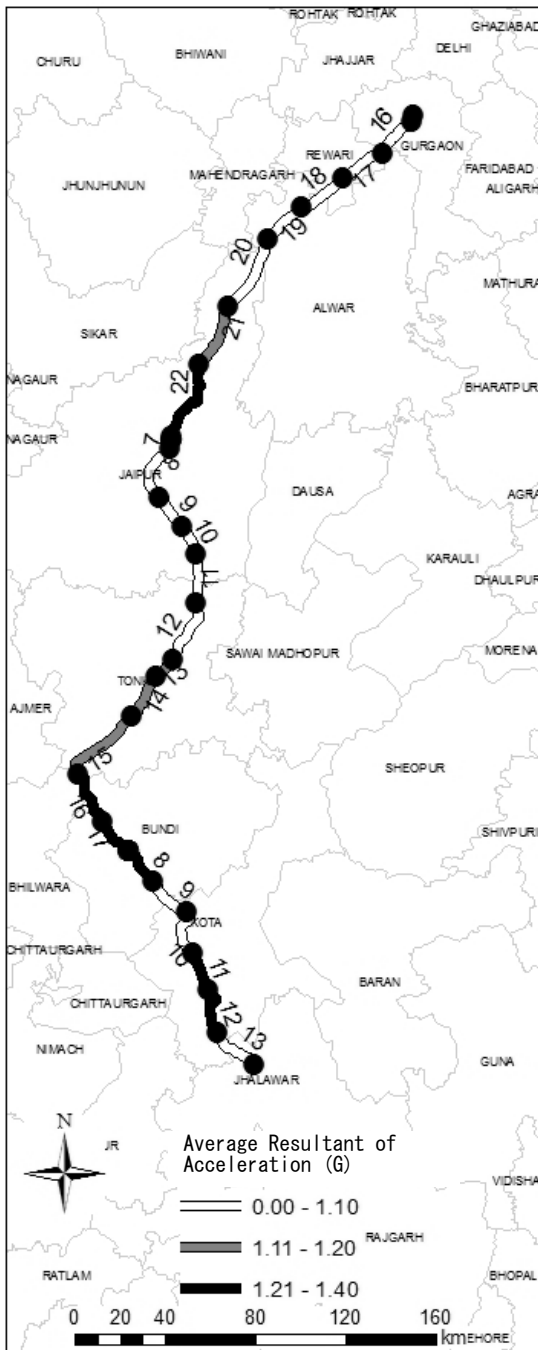


Fig.7 Average Resultant of Acceleration of each timeline

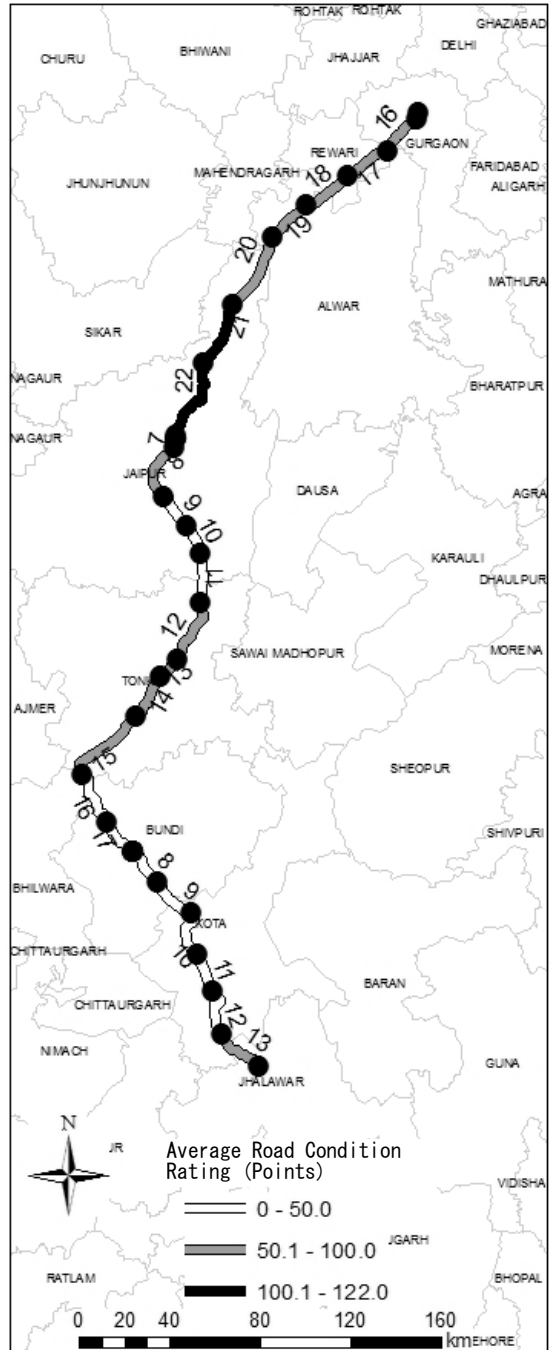


Fig.8 Average Road Condition Rating of each timeline

4.3 目視調査

追走車両から計測した路面状態について、Table4 を用いて 1 分単位で路面状況をスコアに換算した。スコアが高いほど路面状況が良い。各時間帯のスコアの平均値は Fig.8 のように、色が濃い区間において路面状況が良い。国道 8 号上の Jaipur 北部と国道 12 号上の Tonk 周辺で路面状況が良い一方、国道 12 号上の Jaipur 南部と Bundi・Kota 間において路面状況が悪い。

各時間帯における走行中の 1 分当上下動揺回数の平均値については、Fig.9 のようになり、色が濃い区間において、上下動揺回数が多い。Fig.8 において路面状況が悪い国道 12 号上の Jaipur 南部と Bundi において、上下動揺回数も多い。

4.4 走行危険地点の特定

トラックの走行速度と衝撃加速度との関係から、走行危険地点の特定を行う。GPS データにおいては走行中における速度、加速度計においては衝撃加速度の合成ベクトルの値の関係プロットすると、Fig.10 のようになる。

走行速度を説明変数、衝撃加速度を被説明変数とした回帰分析を行うと、図中に示す回帰式を得ることができる。これは、走行速度が高くなるほど、衝撃加速度は高くなるという傾向^{6,7)}が見られる。その一方、図から衝撃加速度の最大値を記録した地点では、時速 12km/h と低速で走行しているなど、低速で走行しているにも関わらず、強い衝撃を受けている地点も見られる。

走行速度 20km/h と比較的低いにも関わらず、3G 以上の比較的強い衝撃を受けている地

点を地図上にプロットすると Fig.11 のようになる。

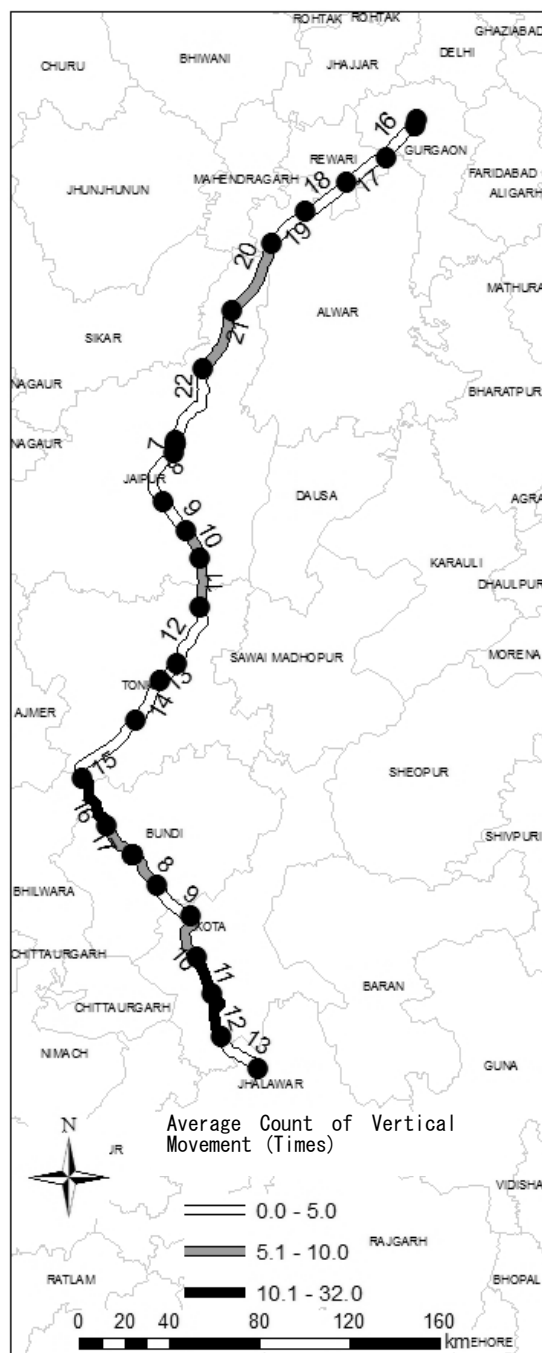


Fig.9 Average Count of Vertical Movement of each timeline

これらの地点は、目視調査の結果である Fig.8 と Fig.9 から分かるように路面の悪さから強い衝撃を受けたと考えられる。時間帯毎のデータからも、トラックの走行速度と衝撃加速度との関係について考察を行う。

GPS においては走行中における速度の平均値、加速度計においては GPS データにおいて走行中と判断された時間における衝撃加速度の合成ベクトルの平均値の関係をプロットすると、Fig.12 のようになる。なお、点にある数値は、各時間帯を表している (以下、Fig. 13、14、15 も同様)。相関係数を計算すると、0.89 と強い相関関係が見られる。3 日目の 11 時と 12 時において乖離が見られるが、これは Kota 南部において Fig.5 のように低速で走行しているにも関わらず、Fig.7 のように強い衝撃加速度を観測していることに起因する。

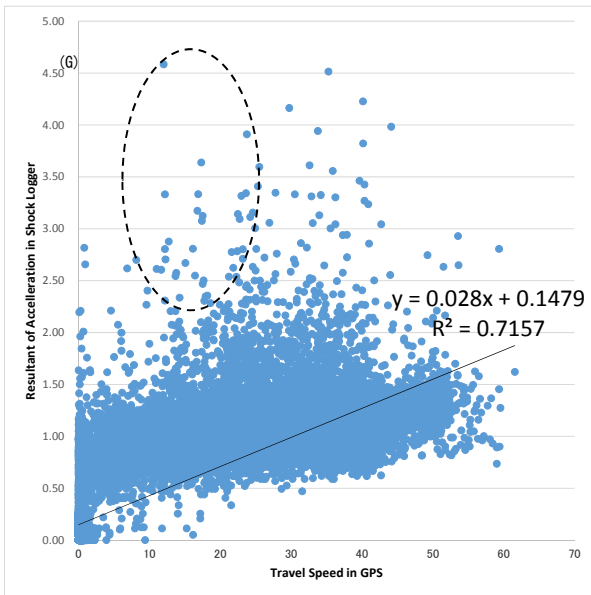


Fig.10 Travel Speed in GPS and Resultant of Acceleration in Shock Logger of each point

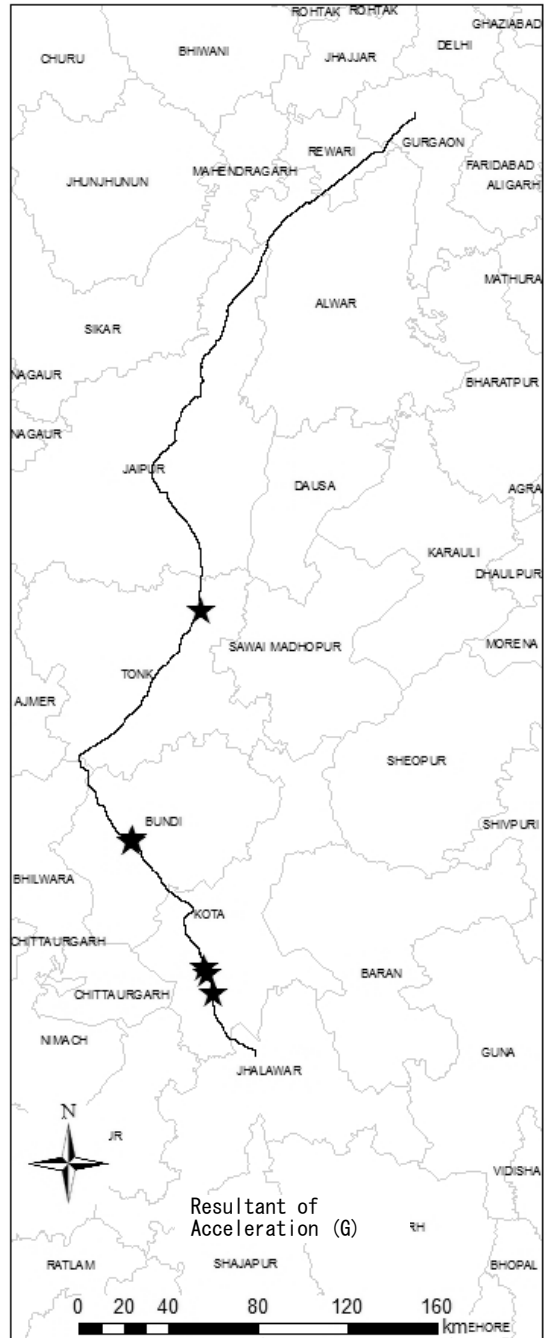


Fig.11 Resultant of Acceleration of each point and the points of problem on the route

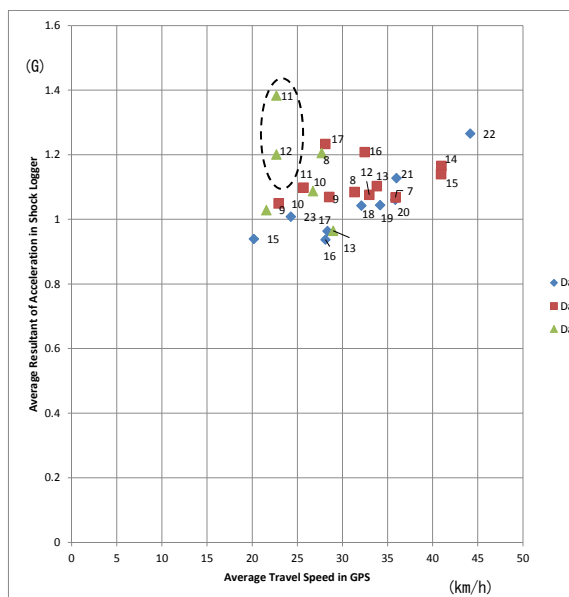


Fig.12 Average Travel Speed in GPS and Average Resultant of Acceleration in Shock Logger of each timeline

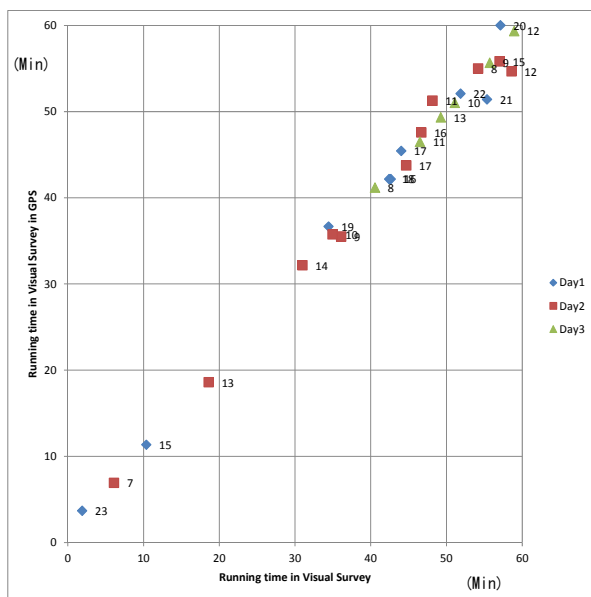


Fig.13 Running time in Visual Survey and that in GPS of each timeline

5.目視調査との比較

5.1 目視調査と GPS

目視調査においては動静把握の中で「走行中」と判断された時間、GPS においてはトラックの速度が 1km/h 以上の時間の関係をプロットすると、Fig.13 のように相関係数 0.99 と強い相関関係が見られる。

続いて、目視調査においては路面状況の平均スコア、GPS データにおいてはトラック走行速度の関係をプロットすると、Fig.14 のように、相関係数 0.52 とある程度の相関関係が見られる。1 日目の 15 時と 23 時、3 日目の 9 時において乖離が見られるが、当該時間帯は行開始直後と走行終了直前に当たることから走行速度が低めになったことに起因する。

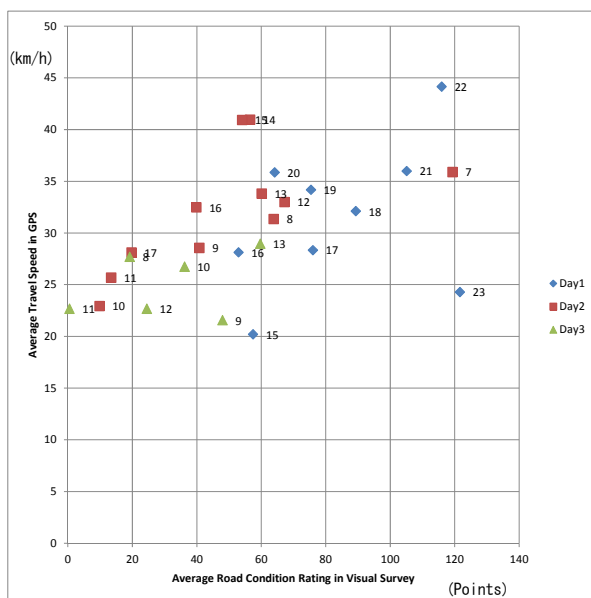


Fig.14 Average Road Condition Rating in Visual Survey and Average Travel Speed in GPS of each timeline

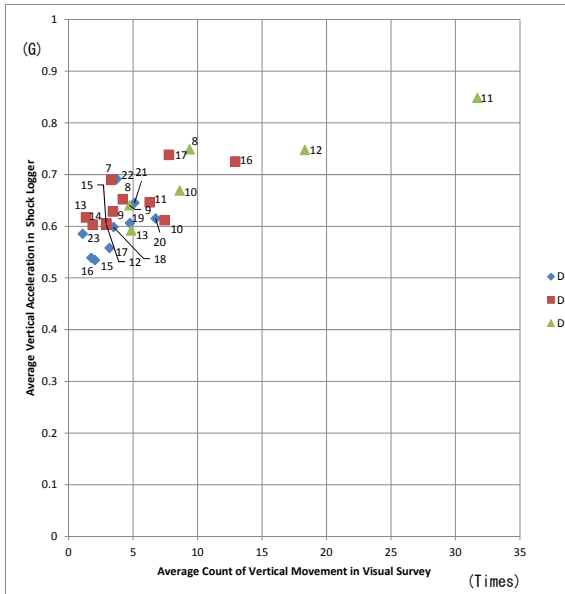


Fig.15 Average Count of Vertical Movement in Visual Survey and Average Vertical Acceleration in Shock Logger of each timeline

5.2 目視調査と加速度計

目視調査においてはトラックの動揺把握での走行中の1分当たりの上下方向の動揺回数と、加速度計においては走行中の上下方向の平均衝撃加速度の関係をプロットすると、Fig.15のように相関係数0.81と強い相関関係が見られる。つまり、機器による定量的調査と目視による定性的調査において強い関係が見られることが明らかになった。

6. まとめ

本論文ではインドの国内物流に焦点を当て、物流インフラの水準の現状把握とともに、地理情報システムを用いて輸送環境調査による分析を行った。インド国内 Rajasthan 州東部を中心にしたトラック走行による輸送環境調

査について、GPS を用いた位置情報、速度の取得と加速度計を用いた衝撃情報の取得による定量的調査とともに、追走車両からの目視による定性的調査を行った。位置情報と速度、衝撃の関係について、時刻をキーとして地理情報システムを用いて輸送リスクの可視化を行い、走行経路上の地域による特性の違いを明らかにした。特に、州南東部の国道12号上において、路面状況が悪いことから、速度が低いにも関わらず強い衝撃を受けている個所を特定することができた。さらに、GPSによる走行速度と加速度計による衝撃加速度、目視による走行時間とGPSによる走行時間、目視によるトラックの上下方向の動揺と加速度計による上下方向の衝撃加速度について、それぞれ強い相関関係が見られることを確認した。このことから、機器による定量的調査と目視による定性的調査において強い関係が見られることが明らかになった。

今後の課題としては、高性能な計測機器を用いることで、衝撃のみならず振動を対象とした調査を行う必要がある。また、GPSでは屋内や荷台における位置情報の取得が困難であることから、屋内外のシームレスな位置情報の取得可能な機器³⁾を用いることで、輸送中とともに荷役中において貨物に直接かかる衝撃を評価する必要がある。

<参考文献>

- 1) 笹山 博、佐野 透、白井 大輔、高北 憲太郎、柴田 久一郎”インドの物流事情に

- 関する調査研究” 国土交通政策研究、101
(2012)
- 2) 日本貿易振興機構編” インド物流ネットワーク・マップ” 日本貿易振興機構
(2009)
- 3) 川口和晃、黒田知寛、日本包装学会年次
大会研究発表会予稿集、20、18-19(2011)
- 4) 渡部大輔、三明亮介、百田大輔、松井一、
日本物流学会誌、21、183-190(2013)
- 5) Singh, S.P. *et al.*、Packag. Technol.
Sci.、20、381-392(2007)
- 6) 国際協力機構” アルゼンチン、ブラジル、
パラグアイ、ウルグアイ国メルコスール
域内産品流通のための包装技術向上計画
調査最終報告書” (2007)
- 7) 斎藤勝彦、長谷川淳英” 輸送包装の基礎
と実務” 幸書房(2008)

(原稿受付 2015年8月7日)

(審査受理 2015年9月18日)