

# 物流センサスを用いた貨物トラックによる隊列車両マッチングのポテンシャル推計 Analysis of Vehicle Matching Potential for Truck Platooning

平田輝満 (茨城大学), 阿部柊人 (青森県庁)

Terumitsu HIRATA (Ibaraki University), Syuto ABE (Aomori Prefecture)

## 要旨

近年、隊列自動走行による物流トラックの輸送効率の向上が検討されていることに着目し、本研究では、物流センサスデータを用いて全国での都市間の貨物の動きを考慮した場合の貨物トラックのマッチングポテンシャルについて推計方法を検討し、東日本エリアを対象に東北自動車道での隊列走行実現のポテンシャルの推計と、出発時刻制約の緩和によるポテンシャルの向上効果の定量的な把握を行った。

## 1. はじめに

トラック輸送の効率化を図るため、自動運転技術を活用した隊列自動走行が検討されており、隊列走行が実現することで燃料消費削減や交通の円滑化等の効果が期待されている。現在までに、隊列走行による燃料削減効果等の分析、隊列走行実現に向けた技術開発が行われているが、実際に隊列走行を導入することになった場合に、どの区間またはどの時間帯に隊列走行を行うことでより大きな効果が得られるかについては十分に分析されていない。今後、我が国で隊列走行の本格導入を検討する際に、その導入効果を定量的に把握することが重要と考え、本研究では、物流センサスデータから実際のモノの流れをもとに、隊列走行が可能なトラック車両がどの程度存在するか、そのポテンシャルを推計することを目的とした。

## 2. 使用データと分析対象エリア

### (1) 物流センサス

本研究では、都市間を移動する貨物トラックが、経路途中で出会い(マッチングし)、その後、隊列を組んで走行を行うことを想定している。そのマッチングの可能性(ポテンシャル)を推計するために、全国の貨物流動を網羅的に調査・把握している物流センサス(全国貨物純流動調査)のデータのうち、「3日間流動調査(3日間調査)」を使用した。また、隊列車両マッチングのポテンシャルを推計するためのデータとして、車種毎に所要時間の傾向が異なることから、1つの車種を抽出して用いることが妥当であると考え、①一定量のデータ数を確保でき、②所要時間なるべくトラッ

クの運行時間に近いもの、③データの傾向が予測しやすいもの、という観点から、「一車貸切」のデータを用いた。推計に使用した物流センサスデータの主な抽出条件は「代表輸送手段：一車貸切、所要時間記入あり、出荷時刻記入あり、到着日時指定記入あり、出荷日：20, 21, 22日、高速道路利用、東北自動車道利用」である。なお、「3日間調査」では、出荷貨物のお荷日、品目、荷受人業種、届先地、届先施設、輸送機関、輸送機関、出荷時刻等が同一の場合は、重量を合算して、これを流動1件として調査しており、使用したトラックの台数や車種は不明である。つまり、上記のような条件を満たした場合、実際には複数台のトラックで輸送されていることもあると考えられるが、本研究ではこれらも1台のトラックと仮定して分析している。

### (2) NITAS(総合交通分析システム)

物流センサスでは、当該トラックの発着地情報と輸送にかかる時間については把握することができる。しかし、高速道路IC利用のデータ欠損が多いことから、輸送における経路までは把握することはできない。今回の分析では、隊列車両マッチングのポテンシャルを探る上で、各トラックのある程度の経路と位置情報が必要となる。そこで、物流センサスに加えて、地点間の経路・所要時間情報をNITASから算出・設定した。NITASの設定条件は、「発着地：各都府県庁(北海道・沖縄県はフェリーを含むため除去)、道路ネットワーク：2015年3月、探索条件：所要時間最小、交通モード：道路・物流モード、道路速度：平均旅行速度(約80km/h)」である。

### (3) 分析対象エリアと車両移動の仮定

今回は、比較的代替道路が少なく、かつ長距離の幹線道路である東北自動車道を選定した。経路については、各都道府県庁を発着地として、所要時間が最小となる経路を算出し、物流センサスの時間に関連するデータが1時間単位であること、平均旅行速度が約80kmに近くなるように東北自動車道の上りを基準にして表-1、図-1のように9区間に区切った(ただし、最も東京に近い区間iについては、東北道の終点である川口まででは短かったため、東京都庁の乗降ICである中野長者橋ICまでの60kmを間とした)。

また、図-2に示すように、物流センサスの所要時間と比較してNITASから算出した(最小)走行時間が短かった場合、出荷時刻を遅らせることも可能と考えられる。そのため、所要時間から走行時間を引いた値を「出荷時刻調整幅」と定義し、出荷時刻調整幅の範囲でなら出荷時刻を調整できるものとした。

表-1 区間設定の詳細

区間名	開始IC	終了IC	IC間距離
a	青森(青森県)	十和田(秋田県)	77.9km
b	十和田(秋田県)	滝沢(岩手県)	80.5km
c	滝沢(岩手県)	水沢(岩手県)	72.8km
d	水沢(岩手県)	三本木(宮城県)	82.5km
e	三本木(宮城県)	国見(福島県)	90.8km
f	国見(福島県)	鏡石(福島県)	82.1km
g	鏡石(福島県)	上河内(栃木県)	83.0km
h	上河内(栃木県)	加須(埼玉県)	77.3km
i	加須(埼玉県)	中野長者橋(東京都)	61.7km



図-1 区間設定の詳細

次に、車両の移動については図-1の区間をベースに、分析を単純化するために、1時間後に次の区間に移動することを仮定した。区間情報とNITASでの最小所要時間を比較したところ、±1時間の誤差が生じていたため、区間情報を優先して最小所要時間を修正し、これを「走行時間」と定義した。

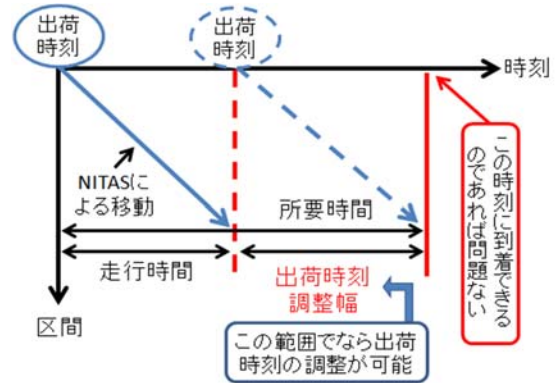


図-2 走行時間と出荷時刻調整幅の定義

上り 区間	時刻												
	20日						21日						
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3
a	41	35	61	69	56	42	34	29	22	30	17	12	8
b	5	26	24	47	59	47	33	27	23	17	21	12	8
c	31	37	55	63	86	98	80	60	58	44	34	31	18
d	37	39	46	66	78	101	111	92	72	63	47	37	33
e	70	93	98	112	121	127	139	148	117	92	77	59	49
f	136	141	135	154	182	182	195	179	169	140	120	93	76
g	41	89	91	86	108	133	139	156	144	142	117	98	71
h	68	120	174	182	168	177	204	205	228	218	207	175	149
i	30	26	39	80	92	79	96	111	116	138	121	114	95
総計	459	606	723	859	950	986	1031	1007	949	884	761	631	507

図-3 20日15時~21日3時の東北自動車道における上りでの存在可能台数分布

### 3. 時空間上の貨物トラック存在可能台数分布の算出

物流センサスデータから抽出した東北自動車道を利用する可能性のある車両(実際にはモノの出荷1件)について、NITASから算出した移動時間をもとに、東北自動車道の各区間に何時に存在可能であるかのデータを割り当て、データベース化した。前述のとおり、「出荷時刻調整幅」がある場合、出荷時刻(出発時刻)を変化させた複数の時間に各区間に存在が可能であることから、ある時刻に複数の区間に存在できる可能性を考慮している。これらを集計することで、物流センサスの調査日である3日間(2015年10月20~22日)で、トラックの存在可能台数の時空間分布の概略を把握できる。その結果の一例(上り方面)を図

-3に示す。これより、東北自動車道において、上りでは15時～翌3時頃に多くのトラックが存在可能であることなどが分かる。つまり、これらの時間帯・区間において車両マッチングポテンシャルが高いと言える。

ここで、この結果は出発時刻に幅を持たせたままで集計しており、重複した車両カウントとなっているが、実際には1つの出発時刻を選択することになる。また、より上流側で隊列を組んだ方が長い距離を隊列走行可能であり、燃費改善等の効果も大きい。そこで、各車両の出発時刻と隊列台数を以下のように決定した。

- 1) 残存走行距離（時間）に応じた重みを各車両に割当
- 2) 出荷時刻調整幅を残しつつ、上記の重みを考慮した台数を各区間・各時間（図-3の各セルに該当）で集計
- 3) 上記2)の重み付き台数の最も大きいセルを選択し、そのセルに含まれる車両の出荷時刻を当該セルを通過するように確定し、当該車両の確定時刻以外の出荷時刻調整幅時刻に対応した車両を削除し、2)の台数分布表を更新
- 4) 更新した台数分布表をもとに3)を再度行い、以後これを繰り返すことですべての車両の出荷時刻を確定し、最終的な台数分布表を算出。

また、到着指定条件の緩和による台数分布の変化を確認するため、図-2のように出荷時刻調整幅を考慮して、到着指定時刻について、以下の4つの条件を仮定して計算を行った：①無調整（実際の出荷時刻）、②調整あり（現状制約）、③調整あり（一部制約緩和：+3時間）、④調整あり（一部制約緩和：+6時間）。

上り区間での存在可能台数について台数規模別の比率で表した結果を図-4に示す。当然ながら、出荷時刻を調整し、さらに到着指定時刻を緩和することで、同じ時刻に同区間に存在する車両数を大きくすることが可能となり、より隊列走行を行うポテンシャルを上げることができていることが分かる。

#### 4. 隊列編成確率を考慮した隊列車両数に関するシミュレーション分析

前章で各条件下における各区間・時刻の車両存在可能台数を算出したが、同時刻同区間に存在する

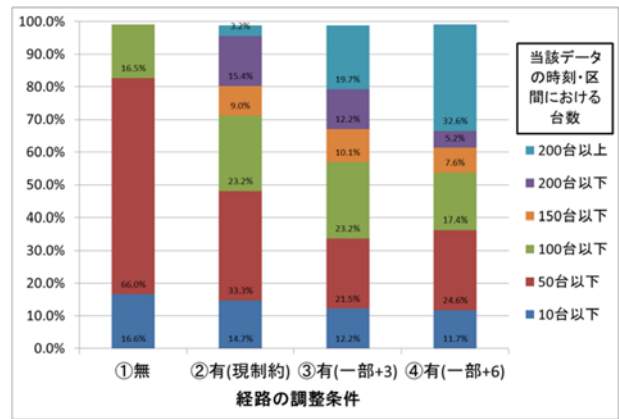


図-4 到着時刻指定条件ごとの存在可能台数割合 (東北自動車道上り、2台以上対象)

からといって必ずすべての車両が隊列を組めるとは限らないと考えられる。また、各車両のODによって経路途中で対象としている東北自動車道から流出することから、隊列編成を組んでも途中で離脱することも考慮すべきである。そこで、前章で算出した車両数 $x$ をもとに各区間における車両発生間隔 $t$ を指数分布（確率密度関数を $f(t)$ ）で仮定し、その間隔が短いほど隊列が組みやすいと仮定した。ある区間での隊列を組める確率 $h(t)$ については車両発生間隔が0のとき1、別途仮定した隊列限界長 $T$ のとき0となるように発生間隔の線形関数で仮定し、以下の式で各時刻区間の隊列走行車両数 $s$ を算出した。

$$s = \int_0^T x \cdot f(t) \cdot h(t) dt \quad (1a)$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1b)$$

$$h(t) = 1 - t/T \quad (1c)$$

$$\lambda = x/60 \quad (1d)$$

この算出式は車両の前後関係を厳密に想定して、どの車両同士が隊列を組むかを表現できているわけではないが、車両相互の走行間隔がランダムな状況において確率的にどの程度の隊列が組む可能性があるかをマクロに推計した値となる。次に、上記算出式で求めた隊列台数をもとに、モンテカルロ・シミュレーションにより、区間ごとの隊列車両走行の連続性と区間途中での離脱を考慮した最終的な隊列編成状況を推計した。その推計フローを図-5に示すが、上流区間から順番に、与えられた隊列台数から（乱数を用いて）ランダムに隊列を組む車両を選択し、一度隊列を組んだ

車両は次の区間では1台として扱い、次の区間での総台数を更新して、再度隊列を組む車両をランダムに選定する。分析の単純化のため1区間では1回のみ隊列を組むことを仮定しているため、複数区間を経て3台以上の隊列も生じることとなる。またIC・JCTごとに東北自動車道を離脱する車両については(各車両にODと経路の属性がついている)、その時点で隊列から分離させている。以上のシミュレーションを複数の隊列限界長と到着時刻制約条件において20回ずつ試行し、得られた結果の平均から隊列編成数別のシェアを算出したものを図-6に示す。隊列限界長が大きいほど、到着時刻調整幅が大きいほど、隊列を組める確率が高まっていることが分かる。また、今回対象とした物流データと区間においては、一番厳しい条件では3割程度、一番良い条件で6割程度が隊列を組むことができる可能性があることを示している。紙面の都合上割愛するが、分析上でモノの発地別にも隊列率が算出でき、宮城県・福島県周辺で隊列率が最も高く、トラックの存在可能台数分布と照らし合わせると、台数が集中している区間で隊列率が高くなっていることが示された。最後に、推計した隊列率から燃費削減効果を簡易に推計した。隊列による燃費削減効果については青木<sup>1)</sup>を参考に、車間4mと8mの場合の隊列編成台数別(8台以上は同様の値を仮定)の走行抵抗改善率(4mで約10~20%, 8mで10%前後)を仮定して算出した。結果を図-7に示しているが、東北自動車道において隊列走行を導入した場合には、約2~8%の燃費削減効果が見込まれる結果となった。さらに、今回の対象トラックが一部であったことを考慮すると、実際に走行しているトラックの台数はさらに多いことから、隊列率・隊列編成台数ともに増加することが予想され、今回示した結果以上の燃費削減効果が期待できるのではないかと考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、物流センサスを用いて、東北自動車道を対象に、貨物ODデータから区間別車両存在台数の推計・隊列マッチングのポテンシャルの推計を行い、隊列走行導入の効果について定量的に把握した。一方で、センサスデータの出荷データと輸送車両数との関連、車両移動の仮定、隊列

編成の確率的な仮定など、多くの検討課題も残されており、それらを含め、今後の課題としたい。

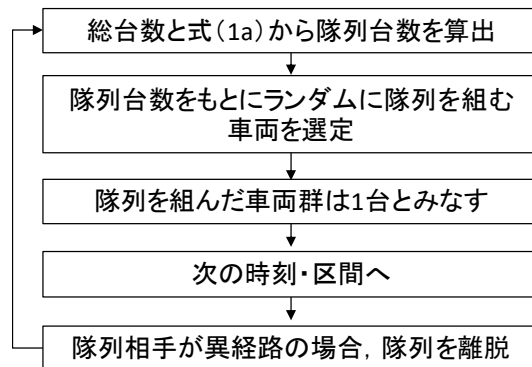


図-5 隊列編成状況の推計のフロー

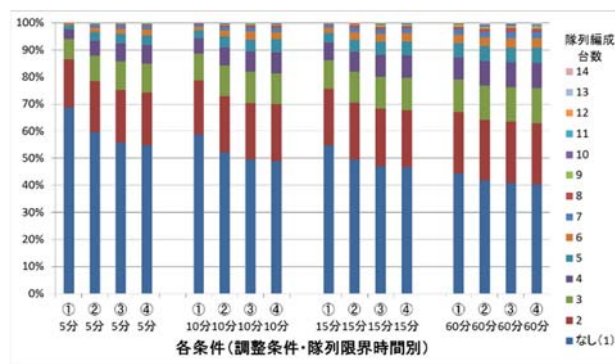


図-6 隊列編成台数別シェア(東北道上り)  
(到着時刻指定条件別: ①~④, 隊列限界長別: 5,10,15,60分)

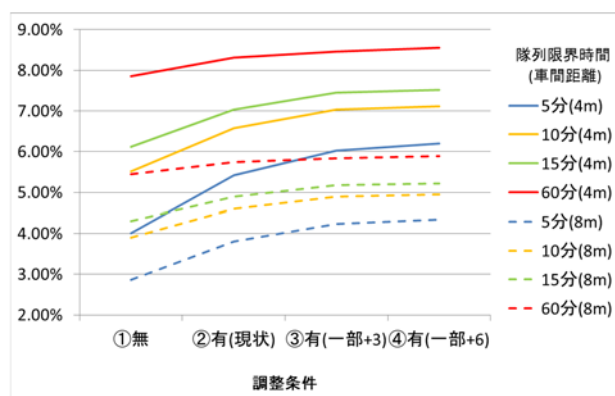


図-7 燃費削減率の変化(東北道上り)  
(到着時刻指定条件別: ①~④, 隊列限界長別: 5,10,15,60分, 隊列車間別: 4,8m)

- 1) 青木啓二:自動運転・隊列走行の効果, 2013,12 .  
<http://www.its-jp.org/wp-content/uploads/2012/09/1-2-1aoki.pdf> (2018年2月25日閲覧)