

連続近似モデルを用いた隊列形成施設配置の評価

01900990 東京海洋大学 *渡部 大輔 WATANABE Daisuke

1. はじめに

トラック隊列走行 (Truck Platooning) とは、先頭車の運転手が後続車の制御を行うことができる電子連結を用いた、自動運転の応用の一つであり、増加し続ける貨物輸送需要と深刻なドライバー不足など、近い将来のトラック輸送の効率化のための解決策として期待されている[1]。近年、米国、欧州諸国、日本の公道で、大手トラックメーカーや物流会社による実証試験がいくつか行われている。特に日本においては、2017年から高速道路での後続車有人の実証実験が続けられる一方、後続車無人の実現に向けたインフラ整備や法規制、商業化などの検討が行われている。隊列走行において、ルート選択やスケジュール調整などに関する計画立案に対して、これまで様々な数理的モデルが提案されている[2]。そして、連続近似モデルは、比較的単純な前提を置くことで解析的な導出を可能としており、施設配置や在庫管理、配車管理などの物流業務に関する応用に幅広く適用されてきた[3]。

後続車無人の隊列走行において、隊列を形成する、つまり有人運転から無人運転に切り替える際に、運転手の交代や待機を行う施設 (隊列形成施設) が必要となる。そこで、本研究では、連続近似モデルを用いたトラック隊列走行の施設配置の有無に関する輸送コストの計算から、隊列走行が有利となる条件を導出する。

2. モデルの概要

対象領域として、図1のような領域間距離 l で隔てられた2つの円盤領域AとB (半径 r) の間で一様に発生する輸送需要を想定する。輸送費用は、2領域間の平均移動距離を用いた上で、隊列走行による費用低減を考慮した平均輸送費用を計算する。定式化輸送経路の選択については、隊列走行の有無に関して、下記の2種類を想定する。

(a) 直行輸送: 隊列走行を行わず、直接、目的地まで単車 (有人) で輸送される場合

領域間平均距離の近似理論式[4]を用いることで、平均移動距離を導出することができ、平均輸送費用は下記の通りに導出することができる。

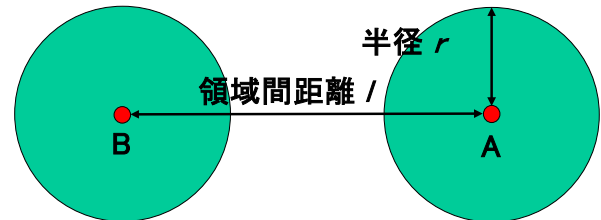
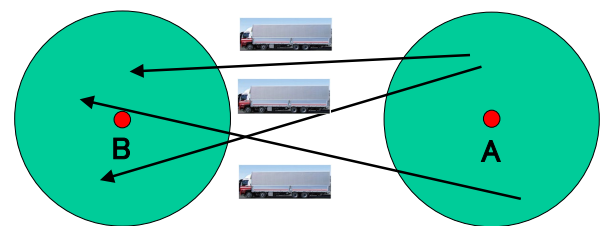
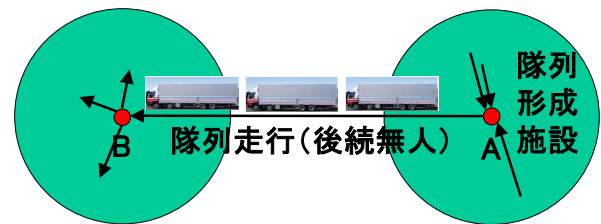


図1 対象領域



(a) 直行輸送



(b) 隊列輸送

図2 輸送経路の選択

$$D_s \geq l + \frac{r^2}{4l} \quad (1)$$

(b) 隊列輸送: 隊列形成施設まで単車 (有人) で経由し、目的地を担当する隊列形成施設まで隊列走行で輸送、その後単車で目的地まで輸送される場合
領域間輸送において、隊列走行を行うことによる燃料消費量と人件費の節約を考慮した隊列費用係数 (α) を導入する。そして、このような隊列走行による領域間距離とともに、単車によるAとBの円盤領域内の中心への (からの) 平均移動距離 ($2r/3$) から、平均輸送費用は下記の通りに導出することができる。

$$D_p \geq \alpha l + \frac{4r}{3l} \quad (2)$$

このように、直行輸送と隊列輸送における平均輸送費用について、領域間距離 l と半径 r という領域間の形状とともに、隊列輸送においては隊列費用係数 α を考慮することで、導出することができた。

3. 数値計算の結果と解釈

ここで、領域半径と領域間距離の関係について、領域間形状比率

$$x = \frac{l}{r} \quad (x > 2)$$

を導入した上で、考察を行う。

領域間距離 $l = 100$ とした場合、領域間形状比率による平均輸送費用による平均輸送費用は、式(1)と(2)を用いると図3の通りとなる。(i) 隊列費用係数 $\alpha = 0.8$ の場合、隊列走行による費用低減効果が比較的低いことから、直行輸送の方が有利である場合が多くなる。一方、隊列費用係数 $\alpha = 0.8$ の場合、隊列走行による費用低減効果が比較的低いことから、直行輸送の方が有利である領域ペアが多くなる。一方、(ii) 隊列費用係数 $\alpha = 0.5$ の場合、隊列走行による費用低減効果が高いことから、隊列輸送の方が有利である領域ペアが多くなる。

ここで、隊列走行の方が平均輸送費用が低くなる条件、つまり $Ds \geq Dp$ を解くと、式(3)のようになる。

$$x \geq \frac{4 + \sqrt{7 + 9\alpha}}{6(1 - \alpha)} \quad (3)$$

これより、隊列費用係数 α に応じて、隊列走行が有利となる領域間形状比率 x を図3のように導出することができる。これより、隊列費用係数 α が小さくなると、領域間形状比率 x が小さい、つまり比較的距離の近い2領域間ペアでも隊列走行の方が有利となることが明らかになった。

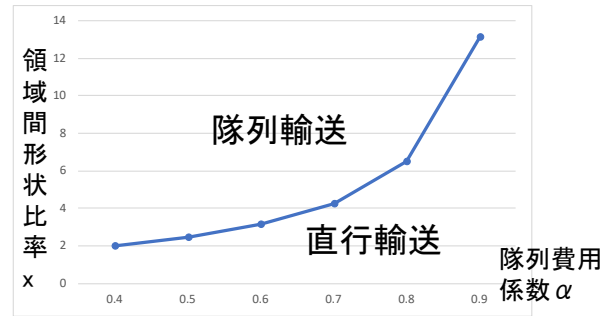
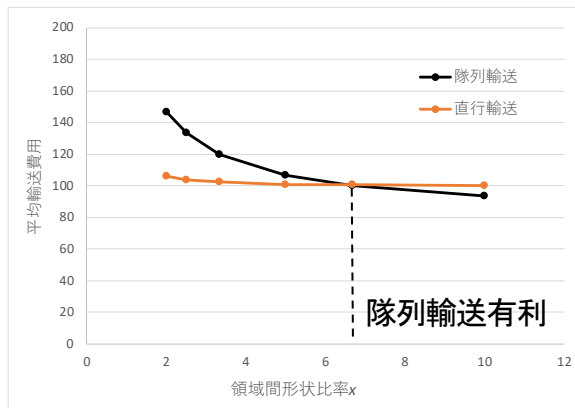
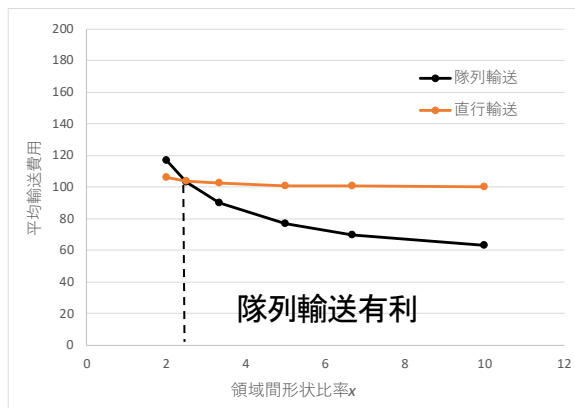


図4 隊列輸送の方が有利な領域ペア



(i) 隊列費用係数 $\alpha = 0.8$



(ii) 隊列費用係数 $\alpha = 0.5$

図3 領域間形状比率による平均輸送費用

4. まとめ

本研究では、領域間平均距離の理論式から、隊列輸送と直行輸送のそれぞれの平均輸送費用を導出し、隊列輸送の方が有利となる領域間ペアの条件について導出を行った。今後の課題としては、実際の輸送需要と交通ネットワークを用いた離散的モデルとの比較が挙げられる。

参考文献

- [1] 渡部大輔「ヨーロッパにおける大型貨物車を利用した貨物輸送に関する取組の実態と課題」, 第22回 IBS フェローシップ最終報告書, 2019.
- [2] Bhoopalam, A.K., Agatz, N. and Zuidwijk, R.: Planning of truck platoons: A literature review and directions for future research, Transportation Research Part B, 107, 212-228, 2018.
- [3] Ansari, S., Basdere, M., Li, X., Ouyang, Y. and Smilowitz, K.: Advancements in continuous approximation models for logistics and transportation systems: 1996-2016, Transportation Research Part B 107, 229-252, 2018.
- [4] Koshizuka, T. and Kurita, O.: Approximate Formulas of Average Distances Associated with Regions and Their Applications to Location Problems, Mathematical Programming 52(1), 99-123, 1991.