日本オペレーションズ・リサーチ学会
2005年春季研究発表会

線分都市における緊急車両の管区割り問題

02005163　南山大学　*稲川 敬介　INAKAWA Keisuke
01204223　南山大学　鈴木 敦夫　SUZUKI　Atsuo

1.　はじめに

ここでは，異なる車両台数に対する緊急車両の管区割り問題を考える．一般的に，区割り問題はわれわれの身近にある問題の一つであり，小学校などの学区や選挙区の区割り問題などがその例である．このような区割り問題では，一つの区とそれ以外の区は独立に扱われる．たとえば，小学校などの学区の区割り問題では，ある区に属する需要はその区内の学校に通い，それ以外の学校に通うことはない．しかしながら，救急車などの緊急車両における担当区の区割り問題では，独立に扱えない場合がある．たとえば，救急車が二箇所に配備されているとき，それぞれの救急車に最も近い区域をそれぞれの担当区と考える．しかしながら，救急車は一つの需要にサービス中である間，それ以外の需要に対応することができない．よって，このような場合，他方の救急車が利用可能であるなら，担当区外の救急車からサービスを受ける．すなわち，このような区割り問題は，優先順序という順序制約を付加された区割り問題であると考えられる．これを緊急車両の管区割り問題と呼ぶことにする．

2.　線分都市における区割り問題

2つのノードとそれを連結する1本の枝のみを持つ単純な線分都市に対する区割り問題を考える．図1は，このような線分都市の例である．それぞれのノード上には，緊急車両格納施設 F_1, F_2 があり，それぞれ複数台の緊急車両を配備可能とする．ノード間の枝の長さは一般性を失うことなく1とする．問題を単純にするため，需要は枝状に連続的かつ一様に分布していると仮定する．発生した需要は，発生したとき利用可能な緊急車両の中で，最も近い緊急車両格納施設で待機している緊急車両からサービスを受ける．このとき，枝状には二つの領域が存在する．それらは，緊急車両格納施設 F_1 に最も近く F_2 は二番目に近い領域と，F_2 に最も近く F_1 は二番目に近い領域の二つである．前者を管区 V_1，後者を管区 V_2 とする．また，管区 V_1 と V_2 の境界を bp で表す．

それぞれの需要は Poisson 規律にしたがって発生すると仮定する．一つの需要に対する緊急車両のサービス時間は，緊急車両の移動時間に依存する指数分布にしたがうと仮定する．また，すべての緊急車両が利用可能でない場合は呼損となることを仮定する．

最適化の目的として，平均対応時間と呼損率を考える．ここで平均対応時間とは，需要が発生してから緊急車両が需要の発生現場に到着するまでの時間である．また，呼損率とはすべての緊急車両が利用可能でない確率である．

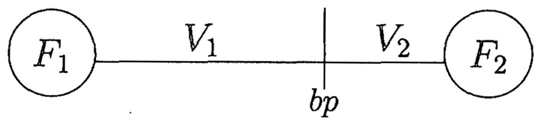

図 1: 二つのノードを持つ線分都市

2.1.　数値計算実験結果

二つの目的，平均対応時間と呼損率は，いづれも稲川，鈴木 [3] のモデルを用いて計算する．このモデルでは，管区 V_1 と V_2 のそれぞれの重心から異なる種類の需要が発生すると仮定し，連続時間型マルコフ連鎖を適用してモデル化する．計算に必要な情報として，長さが1の枝上における移動速度は20とし，移動以外に必要なサービス時間は40と設定する．また，枝全体の需要に対する平均発生時間間隔は90とする．さらに，呼損が起きた場合，ペナルティーとして呼損費用を10と設定する．このとき，格納施設 F_1 を原点として，管区 V_1 と V_2 の境界である bp を区間 $[0, 1]$ 内で変化させたときの平均対応時間と呼損率を求める．また，それぞれの緊急車両施設 F_1, F_2 に対する緊急車両の配備状況を配備 (F_1 の配備台数, F_2 の配備台数) で表すことにする．この表記を用いれば，F_1 に2台，F_2 に1台の緊急車両を配備したときの配備状況は配備 $(2, 1)$ で表される．

配備 $(1, 1)$，配備 $(2, 1)$，配備 $(3, 1)$ における平均対応時間と呼損率の関数は図2で示される．また，表1は，それぞれの数値計算実験における適切な境界 bp とそのときの目的関数値の一覧である．配備 $(1, 1)$，または配備 $(2, 2)$，すなわち緊急車両配備施設 F_1, F_2 にそれぞれ同数のの緊急車両を配備したとき，平均対応時間を最小とする最適な境界は線分都市の中心である $bp = 0.5$ となる．また，呼損率を最小とする最適な境界も，同じく $bp = 0.5$ となる．しかしながら，配備 $(2, 1)$，または配備 $(3, 1)$ の場合の平均対応時間を最小とする境界は，線分都市の中心ではなく F_2 よりの点で最小値を得る．呼損率を最小とする境界についても同様である．

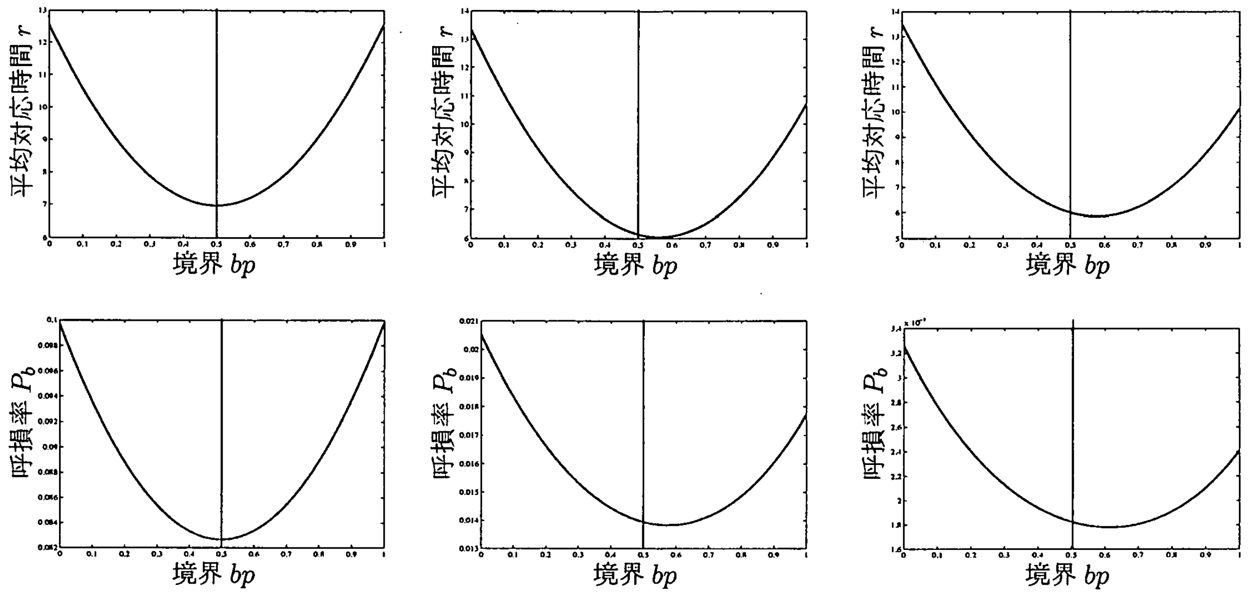

図 2: 配備 $(1,1)$、配備 $(2,1)$、配備 $(3,1)$ における平均対応時間と呼損率の関数

表 1: 配備と境界の関係

平均対応時間の最小化

(F_1, F_2)	bp	r	P_b
$(1,1)$	0.50	6.1399	8.2651×10^{-2}
$(2,1)$	0.56	5.9085	1.3837×10^{-2}
$(3,1)$	0.58	5.8462	1.7840×10^{-3}
$(2,2)$	0.50	5.2621	1.6944×10^{-3}

呼損率の最小化

(F_1, F_2)	bp	r	P_b
$(1,1)$	0.50	6.1399	8.2651×10^{-2}
$(2,1)$	0.57	5.9095	1.3833×10^{-2}
$(3,1)$	0.62	5.8869	1.7795×10^{-3}
$(2,2)$	0.50	5.2621	1.6944×10^{-3}

この数値計算実験から，緊急車両の重複配備による効果が適切な管区割りの決定に関係しているということことが導かれる．また，その効果は平均対応時間の最小化より呼損率の最小化においてより大きくあらわれることも，この数値計算実験から導かれる．

3. 利用率との関係

図 3 は，配備 $(2,1)$ において利用率 ρ と最適な境界 bp の関係を示したものである．この図より，利用率が小さい場合は最適な境界 bp は線分都市の中心である 0.5 に近づき，利用率が大きい場合は緊急車両格納施設 F_2 に近づく．しかしながら，利用率が大きい場合，最適な境界の変化は小さく，われわれの計算において得られた境界の最大値は $bp = 0.5766$ である．

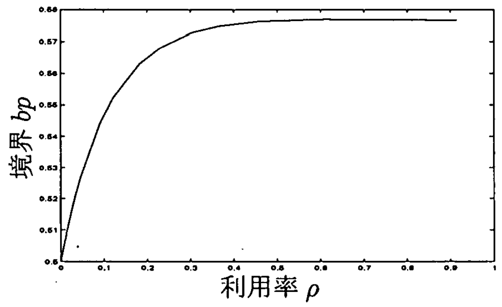

図 3: 利用率と最適な境界の関係

4. おわりに

本研究では，線分都市において最適な管区を求める場合，緊急車両の配備台数の差異による効果が存在することを数値的に示した．これにより，緊急車両の配備台数に差異のある配備問題を考える場合，適切な管区を求めることでより効率的な緊急車両システムを提案することが可能であることが示された．

参考文献

[1] O. Berman , R. C. Larson , “Optimal 2-Facility Network Districting in the Presence of Queueing,” *Transportation Sci.* **19**, 261-277 (1985).

[2] G. M. Carter, J. M. Chaiken and E. Ignall, “Response areas for two emergency units, ” *Operations Research*, **20** (1972) 571–594.

[3] 稲川敬介，鈴木敦夫，“連続時間型マルコフ連鎖を用いた緊急車両の最適配備問題について，” 2004 年日本 OR 学会和文論文誌 **47**, (2004) 25–39 .