

交通への影響を考慮した口蹄疫の防疫計画

宮崎大学 学生員 米良昂大
宮崎大学 正会員 嶋本寛

1. 背景と目的

2010年に口蹄疫の起きた宮崎県の事例によると、初期対応の遅れによる感染拡大や一般車両への消毒を規定した特措法の施行もあり、ピーク時の7月には403箇所もの消毒ポイントが設置され、消毒ポイント周辺では交通渋滞が発生しており、口蹄疫発生時は畜産だけでなく交通にも影響を与え住民の生活に支障を与えることがわかる。口蹄疫の空間伝染モデルに関しては、阿部ら¹⁾は口蹄疫の空間伝染過程をマルコフ連鎖モデルを用いてモデル化、空間伝染確率を推計する方法を提案し、さらに口蹄疫の被害額を最小化する口蹄疫の最適伝染リスクモデルを提案しており、2010年に宮崎県で発生した口蹄疫について検証を行っている²⁾ものの、これらの研究では消毒ポイント設置による効果及び交通に及ぼす影響は考慮されていない。そこで、本研究では家畜及び地域交通に及ぼす影響を同時に考慮した口蹄疫防疫対策の立案に資する、消毒ポイントの設置を考慮した口蹄疫の空間伝染モデルを構築することを目的とする。

2. 消毒ポイントの設置効果を考慮した口蹄疫の空間伝染モデル

(1) 記号表記

本研究で用いる記号表記の意味は以下の通りである。

- A : link-path incidence matrix
- B : OD-path incidence matrix
- E : node-link incidence matrix
- t : リンクコストベクトル
- \mathbf{x}_τ : 期間 τ におけるリンクフローベクトル
- c : パスコストベクトル
- \mathbf{f}_τ : 期間 τ におけるパスフローベクトル
- \mathbf{q}_τ : 期間 τ における交通需要ベクトル
- C : リンク容量ベクトル
- d_{ij} : ゾーン*ij*間の直線距離
- $\boldsymbol{\eta}_\tau$: 期間 τ における消毒ポイント設置個所を表すダミーベクトル
- ω : 消毒ポイントの設置による交通容量低下割合

(2) 感染確率の定義

時点 τ において感染システム状態変数 \mathcal{S}_h であるときに、未感染状態であったゾーン*i*に、時点 $\tau + 1$ において口蹄疫に感染する確率 $\rho_i(\mathcal{S}_h)$ を、Keelingモデルを用いて以下のように表現する。

$$\rho_i(\mathcal{S}_h) = 1 - \exp \left\{ -(\xi^i m_i) \sum_{j \in J(\mathcal{S}_h)} \kappa(d_{ij}, \mathbf{f}, \boldsymbol{\eta}^\tau) \right\} \quad (1)$$

消毒ポイント設置による効果を考慮した感染カーネルを、以下のように定義する。

$$\kappa(d_{ij}, \mathbf{f}, \boldsymbol{\eta}^\tau) = d_{ij}^{-\gamma} + d_{ij}^{-\varphi} \sum_{k \in K_{ji}(\boldsymbol{\eta}^\tau)} f_\tau^k \quad (2)$$

キーワード：口蹄疫，空間伝染モデル，交通渋滞，消毒ポイント

連絡先 〒 889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 TEL0985-58-7331

感染確率 $\rho_i(\mathcal{S}_h)$ における ξ^i , γ , φ はパラメータである。

(3) 車両の経路選択行動の定式化

車両の経路選択行動を利用者均衡状態として記述する。ただし、以下に示すようにリンクコストはリンク容量を超過しない限り定数として扱う (Bell and Iida³⁾)。

$$\min_{\mathbf{f}_\tau} \mathbf{c} \cdot \mathbf{f}_\tau \quad (3)$$

subject to

$$\mathbf{c} = \mathbf{A}^T \mathbf{t} \quad (4)$$

$$\mathbf{f}_\tau = \mathbf{B} \mathbf{q}_\tau \quad (5)$$

$$\mathbf{f}_\tau \geq \mathbf{0} \quad (6)$$

$$\mathbf{x}_\tau = \mathbf{A} \mathbf{f}_\tau \quad (7)$$

$$\mathbf{x}_\tau \leq (\mathbf{1} - \omega \boldsymbol{\eta}_\tau) \otimes \mathbf{C} \quad (8)$$

(4) 評価指標の定式化

家畜への影響は、消毒ポイントに感染した家畜頭数により評価する。感染システムの時間推移パターンが r のときに、期間中に感染したことのある農場の集合を $I(r)$ 、すなわち $I(r) = \{i | s_i^h \geq 1; i = 1, \dots, N, h = 1, \dots, \bar{K}\}$ とすると、感染したことのある家畜頭数は

$$EL_r = \sum_{i \in I(r)} m_i \quad (9)$$

で表せる。交通への影響は、消毒ポイントを通過した車両台数および総遅れ時間により評価する。期間 τ において、消毒ポイントを通過した車両台数 EV_τ^τ および総遅れ時間 ED_τ^τ はそれぞれ以下の式で表される。

$$EV_\tau^\tau = (\boldsymbol{\eta}_\tau)^T \cdot (\mathbf{A} \mathbf{f}_\tau) \quad (10)$$

$$ED_\tau^\tau = (\boldsymbol{\lambda}_\tau)^T \cdot (\mathbf{A} \mathbf{f}_\tau) \quad (11)$$

ただし、 $\boldsymbol{\lambda}_\tau$ はリンク遅れ時間であり、数学的には式(3)から式(8)で表される利用者均衡問題の双対問題における、式(8)に示すリンク容量制約に対する双対解と等しくなる。したがって、口蹄疫の感染パターン r を所与としたときの消毒ポイントを通過した車両台数および総遅れ時間はそれぞれ、

$$EV_r = \sum_\tau EV_\tau^\tau \quad (12)$$

$$ED_r = \sum_\tau ED_\tau^\tau \quad (13)$$

で与えられる。

3. 提案したモデル式の評価

(1) 設定ケース

図-1に示すネットワークを対象として分析を行う。本観測期間を5期間、潜伏期間は8期間とし、発症から2期間後に殺処分を行うと仮定する。また、消毒ポイントを設置することにより当該リンクのリンク容量は40%減少すると仮定する。以下では農場3を初期の感染個所とし消毒ポイントは農場1と農場3の間に設置し計算を行う。

(2) 感度分析

感染確率に影響をあたえるパラメータ ξ^r , γ , ϕ をそれぞれ変化させたときの各指標の変化量について分析する. それぞれの結果を表-1 に示す. 表-1 において ξ^r , ϕ に対する感度が高いため, 適用計算にあたりこれらのパラメータは慎重に設定しなければならないといえる.

(3) シナリオ分析

次に, $\xi^r = 0.006$, $\gamma = 1.07$, $\phi = 0.8$ に固定した上で, 消毒ポイントの設置のタイミングおよび消毒ポイント設置箇所数を変化させた場合の感染する家畜頭数および通過車両台数について考察する.

a) ケース1(消毒ポイント設置のタイミング)

消毒ポイント設置のタイミングを口蹄疫発生前, 発生後1時点目, 2時点目, 3時点目, 4時点目に分類した. 結果を表-2 に示す. 表-2 から, 発症前から消毒ポイントを設置すると殺処分頭数の期待値は減少しており, 設置が遅れるほど期待値は上昇している. この結果から, 事前に口蹄疫の感染抑制対策を行うことは被害を少なくすること及び対応の遅れは被害の拡大を招くことの可能性を確認できた. しかし防疫の対応が早いほど車両通過台数及び車両の総遅れ時間は増加しており, 消毒ポイントの設置は交通へ影響を与えていることがわかる.

b) ケース2(消毒ポイント設置場所数)

発生前, 1時点目, 2時点目, 3時点目の消毒ポイントの設置場所を農場3と農場5間, 農場3と農場4間の順に増やした. 結果を表-3 に示す. 表-3 より発生前, 発生後1時点目, 2時点目, 3時点目において消毒ポイントの設置箇所を増やすことにより, 殺処分頭数の期待値が減少することがわかった. しかし, 車両通過台数及び車両の総遅れ時間は設置数とともに増加しており, 消毒ポイント設置だけでなく設置数も交通へ影響を与えるといえる.

上記のことから, 提案したモデル式で口蹄疫の家畜及び交通への被害を表すことが可能であることを確認した.

4. まとめ

消毒ポイントの設置は, 口蹄疫発生時における感染拡大を防ぐ主要な防疫計画の1つであるが, 同時に交通へ影響を与える. そこで, 本研究では消毒ポイント設置による交通への影響考慮した口蹄疫の空間伝染を記述するモデルを提案した. 提案した方法を簡易的なネットワークに適用した結果, 感度分析から家畜頭数及び消毒ポイント設置に関するパラメータの計算結果に対する感度が高いことを確認した. さらに, 消毒ポイント設置を迅速に行くと口蹄疫被害の軽減につながるものの交通への影響が大きくなることを表現できることを確認できた.

今後の課題として, 構築したモデルを実規模ネットワークに適用できるよう解法アルゴリズムの効率化を図るとともに, 家畜への影響と交通への影響の両方を加味した最適な消毒ポイント設置箇所決定モデルの構築があげられる.

参考文献

- 1) 阿部真育, 吉田護, 小林潔司, 紅谷昇平: 口蹄疫の空間伝染モデリング, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol. 68, No.4, pp.369-387,2012.
- 2) 阿部 真育, 小林 潔司: 口蹄疫の最適伝染リスク抑止モデル, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 3, pp.161-178, 2014.
- 3) Bell, M. G. H. and Iida, Y.: Transportation network analysis, Wiley, 1997.

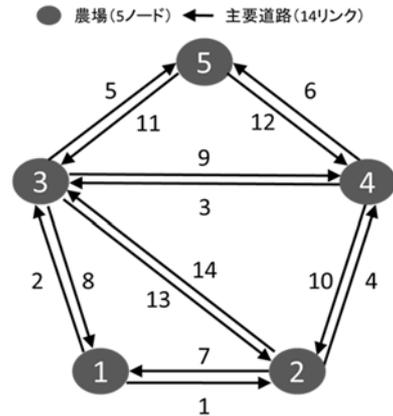


図-1 仮想ネットワーク

表-1 感度分析の結果

(a) ξ^r に関する感度分析

ξ^r	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008
殺処分頭数(頭)	5649.1	6637.9	7477.6	8182.3	8769.9

(b) γ に関する感度分析

γ	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
殺処分頭数(頭)	7494.7	7484.9	7479.2	7475.8	7473.8

(c) ϕ に関する感度分析

ϕ	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
殺処分頭数(頭)	12000	11984	7477.6	1506.2	635.56

表-2 ケース1における感染家畜頭数, 消毒ポイントの通過車両台数及び総遅れ時間

時点	発生前	1時点目	2時点目	3時点目	4時点目
家畜頭数(頭)	6161.6	7016.9	7293.9	7477.6	7477.6
車両台数	1680	1456	1344	1232	1008
総遅れ時間	24030	20826	19224	17622	14418

表-3 ケース2における感染家畜頭数, 消毒ポイントの通過車両台数及び総遅れ時間

設置数	時点	発生前			1時点目		
		家畜頭数(頭)	車両台数	遅れ時間	家畜頭数(頭)	車両台数	遅れ時間
1		6161.6	1680	24030	7016.9	1456	20826
2		5925.9	3510	62910	6952.7	3042	54522
3		2429.2	5310	75060	6059.0	4602	65052
設置数	時点	2時点目			3時点目		
		家畜頭数(頭)	車両台数	遅れ時間	家畜頭数(頭)	車両台数	遅れ時間
1		7293.9	1344	19224	7477.6	1232	17622
2		7272.3	2808	50328	7477.6	2574	46134
3		6931.2	4248	60048	7477.6	3894	55044