

口蹄疫の伝染過程のモデル化と「感染の危険度」の可視化

○高塚佳代子* 牧野 友洋* 関口 敏** 上村 涼子** 久保田真一郎* 山場 久昭* 岡崎 直宣*
(宮崎大学 *工学部 **農学部)

1 はじめに

口蹄疫を始めとする家畜伝染病の多くは潜伏期間を有し、また潜伏期間中も感染力を持つものがほとんどである。そのため、感染症リスクの把握のためには潜伏期間を考慮した上で抑止戦略を検討・実施することが必要となる。しかし、口蹄疫の感染・伝染過程においては、口蹄疫の発症状態のみが観測可能であり、地域における家畜の感染状態を完全には把握できないという問題が発生する。以上を踏まえ、本研究では、防疫対策のための意思決定をサポートするための手段として、事前の防疫対策に有用なシミュレーションや、リアルタイムでの感染予測を可能とするシステムを開発することを目的とする。具体的に検討すべき課題は以下の通りである。

1. 感染地域全体の振る舞いのモデル化の方法
2. 未感染農場各々の感染の危険度を可視化する方法
3. 伝染過程のシミュレーションモデルの構築方法
4. 未感染農場の真の感染の危険度を予測する方法

以下、本稿では、上記1, 2について概説する。(なお、説明の都合上、2, 1の順で示す。)

2 感染の危険度の定量化

任意の農場 i が、ある時点 t で、どの程度感染の危険に晒されているかを、以下の式で数値化する方法を提案する。

$$\Lambda_i = \lambda_i(t) / \lambda_{i0} \quad (F1)$$

ここで、 $\lambda_i(t)$ は、時点 t での近隣農場の感染動物の数、近隣農場の近さ、自農場の感受性動物(未感染の動物)の数等に比例する値であり、この値が大きいうことは、それだけ当該時点で当該農場が感染しやすい環境にあるということとなる^[1]。一方、 λ_{i0} は、当該農場が過去事例において実際に感染したタイミングにおける $\lambda_i(t)$ の値を表す。つまり、過去事例の感染時の λ_i の大きさに対する現在の λ_i の大きさの割合を算出することで、感染の危険度を定量化できるという考え方である。

3 時間ステートチャートによる伝染過程のモデル化

時間ステートチャート(以降“TSC”)は、航空機、自動車、情報家電などの実時間並行ソフトウェアシステムの振る舞いを記述し検証することを主目的に開発された形式モデルである。TSCは、人が見てわかり易い状態遷移図と並行・階層的な機能構造を持ち、事象駆動と時間駆動の混在が記述可能であり、外部からの介入(外乱の発生)や操作の記述・変更が容易に行えるという特徴を持つ。

Fig.1は、2010年に宮崎で発生した口蹄疫の伝染過程の振る舞いをTSCモデルで記述したものである。以下、Fig.1を用いて、本モデル化方法を具体的に示す。

(1)モデルの概観 (Fig.1-(1))

モデリングすべき対象はエピソード期間に感染した全農場の並列動作とすると、本事例の場合、292個の(農場の)感染プロセスの並列動作として表現できる。

(2)各農場内部の振る舞い (Fig.1-(2))

まず、感染後の振る舞いは、局地的な感染流行の疫

学モデル(Kermack and McKendrick (1927))に従い、「感染→潜伏期間→感染性(感染性動物となる)→…→淘汰」という状態の遷移を明示的に与える。また、各遷移のタイミングは、各状態に留まる標準的な時間の長さを、クロック変数のリセット式とそれを用いたタイミング制約式を用いて与える。また、感染前の状態としては、2章で定義した「感染の危険度」のレベルごとに表示するようにする。具体的に、今回の例では、式(F1)で得られる値が0.3未満であれば「感染の危険度は小」、0.3以上0.7未満であれば危険度は中、0.7以上であれば危険度は大とした。更に、ワクチン投与や殺処分といった外部からの操作を、イベントの入力(発火)として記述する。また、各イベントの発火をトリガとして生じる状態変数の値の変化は遷移の矢印に付随する情報として明示的に記す。例えば、イベント“ワクチン投与”が発火したならば、感受性動物の数は現状より9割減となることを明示的に与える。また、イベント“殺処分”が発火したならば、農場内の動物数は0となることを明示的に与える。

(3)状態変数の値の推移を管理する表 (Fig.1-(3))

各時点での「感染の危険度」を計算する上で必要な $\lambda_i(t)$ 、及び、 $\lambda_i(t)$ を計算する上で必要な感受性動物数、及び感染動物数は、時間と共に変化していく値として、当該管理表で管理すべき状態変数とする。

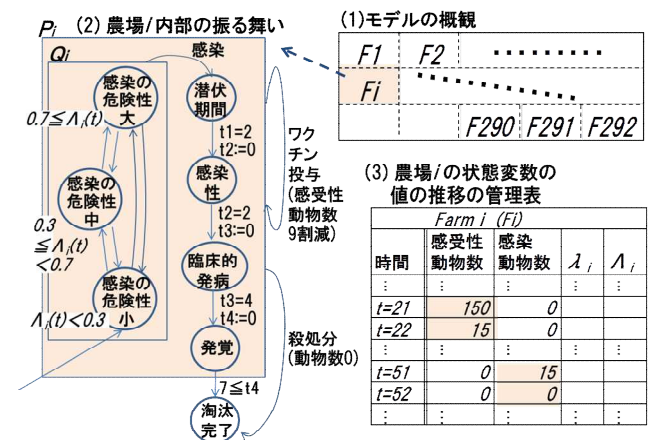


Fig.1 時間ステートチャートによる伝染過程のモデル化

4. おわりに

本研究の検討課題のうち、まず、家畜伝染病の防疫対策のための意思決定をサポートする際に有用なモデルを時間ステートチャートで記述する方法を提案した。また、感染の危険度を数値化する方法を考案し、未感染の各農場に関する各時点での感染の危険度を提示できるようにした。今後、検討課題3, 4として、感染地域での様々なケースをシミュレーション可能なシミュレーションモデルの構築方法、及び、リアルタイムの防疫対策にとって必須である「真の感染の危険度」を予測する方法等を検討していく。

参考文献

- [1] Y. Hayama, T. Yamamoto, S. Kobayashi, N. Muroga, T. Tsutsui. Mathematical model of the 2010 foot-and-mouth disease epidemic in Japan and evaluation of control measures. Preventive Veterinary Medicine 112, 183-193, 2013.