

口蹄疫とその対策について考える

後藤 義孝

口蹄疫 (foot-and-mouth disease, FMD) はウイルスによって起こる偶蹄類家畜の急性熱性伝染病である。致死率は高くないが極めて伝染力が強い。我が国では家畜伝染病予防法の法定伝染病に指定され、『口蹄疫指針』に基づいて防疫を行うことが義務付けられている。2010年4月に宮崎県で口蹄疫が発生し、県内の多くの畜産農家が壊滅的被害を受けたほか、宮崎県の観光をはじめ、さまざまな産業にまで被害が広がるなど、日本畜産史上最大の惨事となった。間接的な被害は隣県にも及び、多額の国費が投入され国家財政にも多大な影響を与えた。宮崎県の試算では畜産関連産業が回復するまでには約5年を要し、地域経済の被害総額は2350億円（うち畜産関連の被害額は1400億円）になるという。10年前にも宮崎県で口蹄疫が発生したが、このときは、4戸の畜産農家と36頭の牛が犠牲となったものの、感染を迅速に封じ込めたとして宮崎県は国内外から称賛された。国と宮崎県は10年前の口蹄疫発生を教訓に、その後、万全の防疫対策を講じていたはずであった。しかし、結果的にはその防疫対策が十分に機能しなかった。今回、我々はなぜ感染拡大を食い止めることができなかったのだろうか。これまでに検証されたことを踏まえ、口蹄疫とその防疫対策のあり方について考えてみたい。

口蹄疫ウイルス

口蹄疫ウイルスはエンベロープを持たない直径21～25 nmの球形ウイルスで、ピコルナウイルス科 (Family Picornaviridae) のアフトウイルス属 (Genus Aphthovirus) に分類される。

ウイルス粒子（完全粒子）は外殻にVP1, VP2, VP3, VP4の4種類のカプシド蛋白が規則的に集合した球形構造をもち、内部に感染性の一本鎖RNAをもつ¹⁾。カプシド蛋白は重要な免疫原で、その量と質がワクチンの有効性を左右する。口蹄疫ウイルスは抗原性の全く異なる7種類の血清型に分類され、それぞれO, A, C, Asia1, SAT1 (South Africa Territory) 1, SAT2, SAT3と呼ば

れる。なかでもO型は伝染力が最も高くアジアを中心に世界中に広く流行している^{1,2)}。

ウイルスのpH感受性と消毒薬に対する影響

口蹄疫ウイルスは、タイプや株によって多少感受性が異なるものの、pH7.0～9.0の中性領域では構造的に安定である。わらに付着したウイルスは夏では4週間、冬では9週間、ふすまなどの飼料中でも長期間感染力を保持できる³⁾。しかし、加熱処理や強酸または強アルカリ環境に置かれると分解し、免疫原性と感染性の両方を失う。口蹄疫が発生した場合、この特性を利用して、安価で大量に調達できる酢酸やクエン酸、あるいは水酸化ナトリウムや炭酸ナトリウムといった強酸性、または強アルカリ性の薬剤が消毒薬として使用される。なお、口蹄疫ウイルスはエーテルやクロロホルムなどの有機溶媒には抵抗性を示し、消毒用アルコール（70%エチルアルコール）もほとんど無効である⁴⁾。

宿主域

口蹄疫ウイルスの宿主域はきわめて広く、感受性動物は50種以上知られている。なかでも偶蹄類が最も多く、ゲッ歯類も11種が含まれる。野生動物の中ではアフリカ水牛など長期間体内にウイルスを持ち続ける動物（キャリアー）が存在するため、本病の防疫上問題となる⁴⁾。家畜の中では、一般に牛が最も感受性が高く、ついで豚、羊、山羊の順とされる。感染が成立するために、牛では10～100個のウイルス、豚ではその100～1000倍以上のウイルスが必要であるとされる⁵⁾。しかし、1990年代に東南アジア地域で流行した株のように、牛より豚に高い親和性を示すものがあり、感染豚との同居試験でも牛に感染しなかった例もある⁶⁾。口蹄疫ウイルスは流行中に抗原変異を起こすことによって宿主域が変化、拡大することが知られており、流行株の宿主特異性は一連の流行の間でも必ずしも固定されたものではないと考えられている。

伝播様式

実験的に家畜に口蹄疫ウイルスを感染させた場合、潜伏期間は牛で6-7日、豚10-11日、羊で約9日である。潜伏期間はウイルス量や株によっても長短が生じるため自然例では必ずしも一定していない。ただ、いずれの家畜も潜伏期間中からウイルスを排出することが分かっている。一頭の感染豚からは一日に約 10^8 個以上のウイルスがエアロゾルの状態で気道から排出される。牛や羊、山羊の排出量は最大 10^5 個程度である。さらに動物の口や蹄に形成される水疱はじめ乳汁、糞尿にも多量のウイルスが含まれる。豚は大量のウイルスを排出することから、口蹄疫のまん延に非常に重要な役割をしており、豚の飼養密度が高い地域に発生した場合、ウイルスは風によって近隣農場へと運ばれる危険性が増す^{3,5,7)}。易感染性の牛と大量のウイルスを産生する豚とが狭い地域に混在して飼育されていれば感染拡大の危険性はさらに増す。感染動物が排出したウイルスは畜舎内のあらゆるものを汚染し、直接あるいは間接的な接触伝播を起こす。汚染された飼育器具、機材、飼料が農場内部での感染拡大を引き起こせば、衛生昆虫、ネズミ、野鳥などが機械的にウイルスを農場外へ運び出す危険性がある。人や車（特に家畜運搬車両）はさらに遠くへとウイルスを運ぶ。人は感受性宿主ではないので発症しないが、ウイルスの運び屋という意味で感染拡大のおもな要因となる。濃厚汚染地域（口蹄疫発生農場など）では、吸引したウイルスを鼻粘膜などに付着させ、移動先の家畜に感染させる。防疫作業従事者は、衣服や器材を完全消毒するほか、少なくとも口腔や鼻の粘膜に付着したウイルスの除去（うがいの実行）のほか、感染力が消失する数日間他人の農場に立ち入らないことが大切である。

疫 学

口蹄疫ウイルスは世界的に広く分布し、中国、インド、ネパール、中近東、アフリカ、南米大陸などは口蹄疫多発（常在）地域となっている。2000年に宮崎に侵入したウイルスは当時アジアで流行していたO型ウイルスと遺伝学的に極めて近縁であったことが分かっている。2000年と2010年に日本で口蹄疫が発生した際、隣国の中国や韓国でも相次いで発生がみられている。また、宮崎で分離されたウイルス株は、いずれもアジア（香港や

ミャンマー）で分離された株と遺伝的に極めて近縁であった⁸⁾。こうしてみると、侵入経路は不明だが、近隣諸国で感染拡大したウイルスが、我が国にもたらされた可能性が極めて高い。

免 疫

新生獣や幼獣は別として、成獣が口蹄疫ウイルスに感染、発病しても死亡することはほとんどない。感染耐過した動物は、同タイプのウイルスに対する防御免疫を獲得する。ただし異なるタイプに対して防御機構は働かない。感染防御能はおもに液性免疫によって作られる抗体（中和抗体）による。キャリアー牛の中和抗体価は、キャリアー化していない牛のそれより高く長期間持続する一方、豚の中和抗体価は感染7-10日後にピークに達する。その後急激に減少し、4ヶ月後にはほとんど検出できなくなる（豚は治癒する）。治癒した豚には再びウイルスが感染し、約半数が発病するという。理由はよく分かっていないが、豚は牛に比べてキャリアーとなりにくく、ワクチン効果が持続しにくいことが知られている^{9,10)}。

診断方法について^{11,12)}

口蹄疫の確定診断には、動物の症状だけでは不十分で、動物からウイルスを検出する（遺伝子検出でも可）か、抗体が作られていることを証明することが必要である。ウイルス検査と抗体検査は、口蹄疫発生地域（移動制限区域や搬出制限区域）において感染がどこまで広がっているかを調査する際にも行われる。感染動物の病変部を直接分離材料とすればウイルス分離はさほど困難ではない。キャリアー動物の場合は、抗体検査のための採血と、ウイルスを分離するための金属製小カップで咽頭部の粘液を掻き取るプロバング法とが併用される。ウイルスの同定にはカプシド蛋白や非カプシド蛋白の遺伝子領域を標的としたPCR法などの遺伝子解析法が、また抗体価の測定には、多種類の感受性宿主動物について単一の反応系で抗体検出が可能な、液相競合エライザ・サンドイッチ法（Liquid phase blocking ELISA）が用いられる。ウイルス株間の遺伝学的な近縁関係を調べることにより、国境を越えて侵入するウイルスの伝播経路を推定できる。特にウイルスRNAの特定部位（VP1コード領域）をRT-PCR法で増幅した相同性解析手法は、迅速に株間の遺伝的近縁関係を求めることができるので、広く利用されている。

2010年宮崎県で発生したFMD^{13,14,15)}

4月9日、宮崎県都農町の畜産農家の牛1頭に獣医師が異常を発見し、通報を受けた家畜保健衛生検査所（家保）は典型的なFMDの症状ではないとして経過観察とした。4月16日、2頭に同様の症状が見つかり、家保はFMD以外のウイルス検査を実施したがすべて陰性であった。4月19日、さらに1頭が発症、家保はこれら3頭の検体をFMDの疑いありとして機関（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 動物衛生研究所）に検査を依頼、翌4月20日、3頭ともに口蹄疫と確定診断され、第1例目の発表となった。宮崎県はただちに口蹄疫防疫対策本部を設置し、当該農家から半径10キロを移動制限区域、半径20キロを搬出制限区域に指定し、当該農場周辺の4ヶ所に消毒ポイントを設置して感染拡大の防止にあたった。4月28日、第1例目から約70キロ離れた宮崎県えびの市での感染（9例目）が確認された。また、宮崎県川南町の県畜産試験場で国内初の豚への感染が確認された（10例目）。えびの市への感染拡大に伴い、移動・搬出の制限区域が鹿児島県や熊本県の一部に拡大した。5月1日に自衛隊への災害派遣を要請し、

陸上自衛隊110名が加わり必死の防疫作業が行われたが、これ以降5月中旬まで感染農場数は日を追うごとに増加し続けた。感染エリアは児湯郡一帯に拡大し、5月18日までに殺処分対象数118,164頭、処分未完了約6万頭に達し、防疫対策が機能していないことが誰の目にも明らかになった（図1）。5月19日、政府（政策対策本部会議）はついにワクチン接種と接種家畜の全頭殺処分を決定、5月22日にワクチン接種が開始された。6月4日、口蹄疫対策特別措置法が施行され、ワクチン接種農家への補償などの手当てが可能となった。4月28日にえびの市で発生したFMDは、その後5月13日までに4例の発生をみたが、いずれも迅速に防疫対策を行ったおかげで、この日移動制限区域の解除となった。5月中旬以降、ワクチンの効果からか、1日あたりの発生数は漸次減少したが、6月9日、ワクチン接種圏外である都城で280例目が、翌日には日向市と宮崎市で284例目と285例目が発生した。ワクチンによる封じ込めに失敗したこれらの例は、幸いに初動防疫体制が奏功し、感染拡大には至らなかった。6月30日にはワクチン接種家畜の殺処分と埋却措置を完了した。7月4日、宮崎市で最後の感染事例となる292例目を発見、翌日にはすべての患者と疑似患者

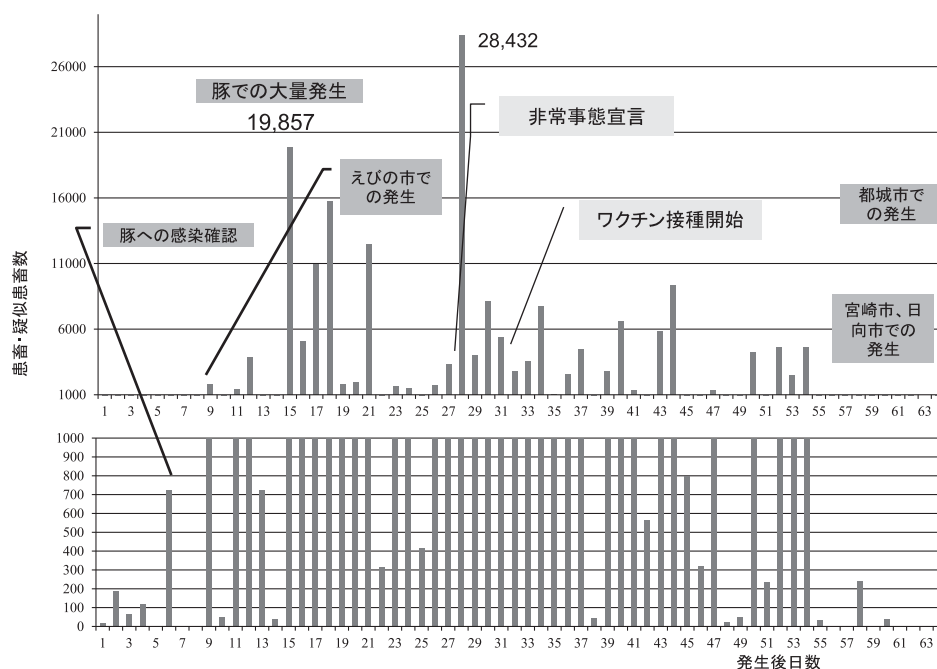


図1. 日別発生頭数の推移。2010年4月20日に1例目が発生した(1日目)として、それ以降の発生農場における患者・疑似患者数(牛、豚の合計数)の推移を日別に示す。ここでいう発生頭数とは、当時の家畜伝染病予防法に基づき殺処分が決定した発生農場における家畜頭数のことであり、実際にウイルスに感染した家畜数(真の患者数)は不明のまま感染は終息したことに留意してほしい。

畜の処分を終えた。7月27日、県内の移動・搬出制限区域を全て解除し、非常事態宣言も全面解除となった。8月9日には牛・豚飼養農家の清浄性確認検査を終了、8月27日までに防疫措置対象農場の農場内糞尿等の安全性を確認し、同日、県知事による口蹄疫終息宣言が行われた。この約4カ月間に、発生農場数292戸、ワクチン接種農場数は1011戸に及び、殺処分された動物総数は288,643頭（牛：68,266、豚：220,034、その他343）にのぼった。この間、防疫に携わった延べ人数は15万人以上、ピーク時消毒ポイントは348カ所となった。口蹄疫清浄国へ復帰し、食肉などの輸出の再開を進めるため、2010年10月6日付けでOIE（国際獣疫事務局）に申請を行い、2011年2月5日（日本時間）にようやく「ワクチン非接種口蹄疫清浄国」へと復帰した。

ワクチン使用について¹⁶⁾

我が国は口蹄疫清浄国であり、口蹄疫ワクチンの家畜への使用は禁じられている。したがって、口蹄疫ウイルスに感染しないかぎり家畜が抗体を保有することはない。家畜が抗体を保有していることが判明した場合、それらは理由の如何を問わずすべて感染動物(患者)と見なされ、殺処分の対象となる。口蹄疫汚染国では感染拡大を抑制するためにワクチンが用いられる。2001年、英国で口蹄疫が大流行した時、オランダに飛び火したウイルスが同国内で爆発的に感染を拡大させた。当時のオランダは口蹄疫清浄国であったが、政府は感染拡大を食い止めるためにワクチン接種に踏み切り、国内からウイルスを駆逐することに成功した。今回の宮崎県のワクチンの使用法はまさしく当時のオランダで実施されたケースと同じであった。すなわち、感染家畜の処理が間に合わないと判断した国と県は、発生農場から半径10キロの範囲の全家畜を対象に、ワクチン接種と殺処分に踏み切った。感染動物が地域に存在するかぎり、感染力を持ったウイルスが排出され続け、周囲を汚染していると考えなければならない。ワクチン接種により動物体内でのウイルス増殖は抑えられるが、体内から完全に駆逐されるわけではない。むしろ症状が出なくなる（キャリアー化する）とウイルスによる汚染がどこまで拡散しているのかが分からなくなってしまう。清浄性確認時に感染個体とワクチン接種個体を識別する検査法があれば、ワクチン接種個体を殺処分しなくて済むはずである。口蹄疫ウイルスの

つ抗原性に関して、VIA（virus infection associated）抗原などのウイルス非構造蛋白（NSP）は、タイプを超えた共通抗原として、またウイルス感染を証明する抗体検出用の抗原として利用できる。すなわち、NSPに対する抗体は、理論的にはウイルス感染時にのみ産生され、カプシド蛋白のみで作成した不活化ワクチンで免疫した個体にはNSPに対する抗体は産生されない。この場合、抗NSP抗体の検出は、野外ではウイルス感染を意味し、ワクチン接種動物と感染動物の識別が可能となる。このため、NSPに対する抗体検出法は、ワクチン接種地域におけるキャリアー動物の摘発を可能とするはずである。残念ながら現段階では完璧な識別は難しいとされており、今回の宮崎県の場合も、多数のワクチン接種動物を殺処分せざるを得なかった。こうした悲劇を無くすためにもさらに精度の高いワクチン（マーカーワクチン）の開発が求められている。

感染症対策

我が国の農業・畜産業はその資材の大部分を海外からの輸入に頼っている。これは防疫の観点からすると非常にリスクが高いということになる。日本を取り巻くアジア各国は口蹄疫のみならず家畜伝染病の多発地域であり、それらの国々との間で人とモノの行き来が増大している今日、それらに付随して侵入する病原体を食い止める水際防疫が必要となっている。残念ながら、家畜飼料をはじめとする輸入農畜産物に対する我が国の検疫体制は万全ではない。実際、これまでに多くの病原体が日本に持ち込まれ、現在では我が国の動物の感染症として定着してしまったものが数多くある。こうした問題への対策としては、検疫システムの強化とくに国外からの家畜や畜産物、飼料などの搬入時の検疫、空港や港湾における旅行客の検疫、農場における検疫の強化と搬入時の消毒の徹底など、病原体を農場内に持ち込ませないことが大切である。

病原体の侵入を許したとしても、防疫体制さえしっかりしていれば、被害を最小限に食い止めることができる。その際重要なのは、防疫活動における組織体制であろう。国レベルではさまざまな省庁間の協力の仕組みであり、地方レベルでは行政を筆頭とした農畜産、警察、保健、消防、教育などの関連機関の相互協力の仕組みである。今回の口蹄疫で防疫作業に従事した多くの人が、

国や県、さらには現場の指揮系統が混乱した結果、初期の対応が大幅に遅れたと証言している。口蹄疫では迅速な防疫活動こそが最善の対策となるが、その場合、最も重要なのは現場において患畜を早期に発見し、迅速な防疫活動が遅滞なく実施されることである。国、県、現場いずれも、緊急事態に即応して実質的に機能する仕組みでなければならない。また日を追って拡大する口蹄疫のような場合、防疫活動には獣医師以外の補助員の協力が必要不可欠である。したがって、日常的に獣医師以外にも適切な訓練を受けた活用可能な人材を動員するための仕組みを考えておく必要がある。各自治体は動物疾病の制御に役割を果たし得る人員を選定し、伝染病が発生した時、直ちに行動できるような体制（教育や実地訓練）を普段から整備しておく必要がある。

おわりに

口蹄疫は伝染力が強く早期発見が難しい感染症であり、農畜産物の輸出入国いずれも、本病を最も重要な家畜伝染病として位置付けている。わが国は世界でも有数の家畜飼養国であると同時に、相当数の家畜および農畜産品の輸入国であり、キャリアー動物もしくはウイルスに汚染された飼料や農畜産物の国内搬入、ウイルス汚染した旅行者などの農場訪問など多くのハイリスク要因があることを肝に銘じておかなければならない。今回の口蹄疫災害は、わが国の危機管理体制が充分でないことを強く印象付けた。さらに、現在の畜産経営に対応できなくなっていた法律が、皮肉にも足枷となって、現場における防疫活動の妨げになったことも、感染拡大の大きな要因のひとつとなった。幸いにしてウイルスは駆逐され、宮崎は再び畜産王国の復興に向けて新たな取り組みを始めた。今回の惨禍を教訓とし、我々は各国の関連機関はじめWHOやOIEなどの国際機関と連携して口蹄疫のみならず他の重要な動物感染症に対する防疫活動も積極的に行い、感染症のない畜産を目指さなければならない。

い。また、大学や研究機関には診断の精度向上や迅速化を目指した技術開発、さらには防疫の最前線でリーダーシップのとれる高度な技能と判断力をもった畜産指導員や獣医師の育成はじめ畜産農家や地域住民の防疫意識向上を目指した地域づくりへの貢献が求められている。

文 献

- 1) Racaniello, V. R.: *Picornaviridae: The viruses and their replication* in Fields Virology, Knipe, D. M. et al. ed. p. 796, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer Business, Philadelphia (2007).
- 2) MacLachlan, N. J. and Dubovi, E. J.: *Picornaviridae* in Fenner's Veterinary Virology, 4th ed., p. 425, Elsevier, San Diego (2011).
- 3) Official data. Foot-and-mouth disease: sources of outbreaks and hazard categorization of modes of virus transmission. Center for epidemiology and animal health, USDA, APHIS and VS. Colorado, USA (1994).
- 4) Sellers, R. F.: *Vet. Rec.*, **83**, 595 (1968).
- 5) Moutou, F. and Durand, B.: *Vet. Res.*, **25**, 279 (1994).
- 6) Dunn, C. S. and Donaldson, A. I.: *Vet. Rec.*, **141**, 174 (1997).
- 7) Orsel, K. et al.: *Prev. Vet. Med.*, **88**, 158 (2009).
- 8) Genotyping Report, FAO World Reference Laboratory for Foot-and-Mouth Disease (WRLFMD) (2010).
- 9) Doel, T. R., Williams, L., and Barnett, P. V.: *Vaccine*, **12**, 592 (1994).
- 10) Doel, T. R.: *Rev. Sci. Tech.*, **15**, 883 (1996).
- 11) Ferris, N. P. and Dawson, M.: *Vet. Microbiol.*, **16**, 201 (1988).
- 12) Donaldson, A. I. et al.: Foot-and-mouth disease. OIE Manual of standards for diagnostic tests and vaccines, 3rd ed., OIE, Paris, France (1996).
- 13) 農林水産省ホームページ, 口蹄疫情報2010 http://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_fmd/index.html
- 14) 宮崎県ホームページ, 2010年に宮崎県で発生した口蹄疫の対策に関する調査報告書 (2011) <http://www.pref.miyazaki.lg.jp/contents/org/nosei/chikusan/miyazaki-cow/saishu.html>
- 15) Nishiura, H. and Omori, R.: *Transbound. Emerg. Dis.*, **55**, 1 (2011).
- 16) Backer, J. et al.: Vaccination against Foot-and-Mouth Disease, LEI and CVI report, Wageningen UR (2009).