

国内で拡がる牛伝染性リンパ腫ウイルス感染と放牧地における吸血昆虫対策を基軸とした感染防除

東北大学農学部 芳賀聡

1, はじめに

国内における肉用牛生産頭数はここ数年増加傾向にある。大規模化が進み 1 戸当たりの飼養頭数が増加していることが大きな要因である。しかし一方で、主に零細農家の廃業等により直近 5 年間では平均約 1,580 戸/年のペースで飼養戸数が減少しており（参考：農林水産省畜産統計 20230317 公開情報）、日本全体でみれば肉牛生産基盤の脆弱化が危惧されている。さらに 2022 年以降、ロシアのウクライナ侵攻による穀物流通量の減少、世界的な気候変動による作物生産被害および歴史的な円安などに起因する輸入飼料価格の高騰と高止まりが、畜産経営を圧迫する厳しい情勢が続いている。国際的に不安定かつ不透明な時代にある中で、日本において、持続的な肉牛生産基盤を維持強化していくためには、肥育素牛の安定供給の要となる肉用牛繁殖農家における低コスト・自給型の飼養技術を選択肢として持つこと、そして新たな担い手の確保と育成が大きな課題である。特に新規就農の促進には、初期投資が少なく軽労化による労働生産性の向上が可能な超低コスト型の肉用牛繁殖経営モデルが必要であり、耕作放棄地等を活用した省力効果が高い周年親子放牧による高収益可能な繁殖経営の普及が進められている [1, 2, 3]。

2, 国内における牛伝染性リンパ腫ウイルスの感染拡大

一方、国内における牛伝染性リンパ腫 (enzootic bovine leukosis: EBL) の発生状況は年々深刻さを増している。届出伝染病に指定された 1998 年は発生頭数が 99 頭であったが、2011 年には 1,765 頭、2022 年では 4,334 頭と増加の一途をたどっている。最新の統計値をみても、2023 年 1～7 月にかけて、平均月発生数が戸数にして約 200 戸/月、頭数にして 380 頭/月と報告されている（参考：農林水産省監視伝染病の発生状況 20231030 更新情報）。EBL は、牛白血病ウイルス (bovine leukemia virus: BLV) が原因の感染症である。国内の肉用牛の BLV 浸潤状況について、2010 年度に行われた調査では感染率がすでに 28.7%であったが [4]、その後の EBL 発生数増加傾向から、BLV 感染率はさらに悪化していると予想される。家畜感染症学会が 2018 年に実施した、牛の感染症に関する全国の獣医師アンケート（全体の 84.2%が NOSAI 勤務の獣医師）の報告 [5] によると、清浄化を積極的に進めている感染症の第 1 位こそが EBL であり、さらに「農家および地域における清浄化」および「個体および群における予防法」について回答者の関心が特に高く、生産現場において問題意識が高いこ

と分かる。しかし、海外で行われた清浄化方策である全感染牛の摘発淘汰は[6, 7]、BLV 感染率が極めて高い日本においては、すでにそのタイミングを逸し、経済的に実施困難な段階にある。我々は、清浄化に向けて、国内の現場事情に応じた、現実的（地道な）かつ戦略的な対策を講じていく必要がある[8]。

3, 本実証試験の背景

BLV 感染は感染リンパ球を介し、微量の血液でも牛から牛へと伝播が成立する[9]。主な感染経路として、アブ・サシバエといった吸血昆虫[10, 11, 12]、人為的作業[13]および接触（同居）[14]を要因とする水平感染と、母子間の垂直感染[8, 15, 16]がある。BLV 陽性繁殖牛に子牛を産ませなければ垂直感染リスクは回避でき、人為的作業要因による水平感染は、飼養者、獣医師、家畜人工授精師および削蹄師等が BLV 感染機序を正しく理解して「牛白血病（牛伝染性リンパ腫）に関する衛生対策ガイドライン（農林水産省）」に沿った各作業手順を徹底することで防止可能である。BLV 陽性牛と陰性牛の物理的な分離飼養が何より肝要であるが、飛び交う吸血昆虫を介した機械的な水平感染は単純な分離飼養だけでは防除できない。吸血昆虫による BLV 伝播は、陽性牛から陰性牛へと連続した吸血行動により、口器に付着した新鮮な感染血液が陰性牛の体内に入ることによって感染が成立する。しかし、昆虫体内で凝血した血液や口器で乾燥した血液中の感染リンパ球は変性して感染力を失うとされている[17]。これまでに牛舎内飼養において、吸血昆虫による伝播を防ぐ防虫ネットの設置[18]や、口器に付着した感染血液を乾固させる時間を確保するため約 4-5m 程度の物理的距離を設けた分離飼育[19, 20]が検討され、一定の有効性が示唆されている。一方、野外環境にある放牧飼養管理では、制御が難しい吸血昆虫の伝播リスクはより深刻である。これに対して、数 m から数百 m の分離放牧やアブ防除ジャケットの着用等の対策により、牧場陽性率の低減に成功した有益な現場実証事例が各家畜保健衛生所や NOSAI の獣医師等からも報告されており、期待はあった。しかし、BLV 陽性農家への介入による対策実証では、対策前の対照期間と対策後の期間の比較に限定されるケースや、調査対象となる牛の遺伝的要因（EBL 抵抗性・感受性アレル[21, 22]）や BLV プロウイルス量[8, 23]といった感染リスクに関する情報が不足したり、十分な頻度の採材や遺伝子検査の実施が困難であったり（感染初期の見逃し）、農場主の対策失宜や意思決定（検査拒否等）がバイアスになる等、効果を検証する上で様々な精度的制約が生じやすい。実際に、対策を講じた陰性牛の陽転を防げなかった事例も報告されているが、その要因については対策技術の実証条件も含めて科学的な議論の余地がある。

そこで我々は、清浄化に向けた有効性の高い放牧対策技術の開発に資するため、吸血昆虫リスク対策に特化した BLV 伝播阻止放牧コンセプトを考案して実証研究を行い、BLV 伝播阻止効果を示すエビデンスを得ることに成功した [24] ので紹介したい。

4, BLV 伝播阻止放牧コンセプト

我々が考案した BLV 伝播阻止コンセプトと具体的な実践策を以下に示す。

- ① 「血を失活させる」：アブ・サシバエの口器に付いた新鮮な BLV 感染血液の失活時間を確保するため、BLV 陽性牛牧区と陰性牛牧区の間、5m 幅の分離帯を設ける。
- ② 「行かせない」：放牧地に飛来するアブ・サシバエの捕獲と共に、陽性牧区から陰性牧区への飛翔移動を阻害するため、分離帯には約 50m 間隔でアブトラップを設置する。
- ③ 「忌避させる」：アブ・サシバエにとって飛来しやすい牧区と飛来しにくい牧区に区分して陽性牧区から陰性牧区への吸血行動リスクを低減するため、片方の牧区の牛のみに耳標型外部寄生虫駆除剤を装着する。コストや労力の面から頭数が少ない牧区の牛のみに装着することを推奨（本実証では頭数の少なかった対策牧区の牛群に装着した）。
- ④

なお、本コンセプトの有効性は、「牛白血病（牛伝染性リンパ腫）に関する衛生対策ガイドライン」に準拠した人為的感染要因の確実な排除（体重測定、試験採血、定期投薬、登録用鼻紋採取、耳標装着、鼻環装着、除角、去勢、同期化ホルモン注射、人工授精（AI）、妊娠鑑定、削蹄等などは全て陰性の対策牧区から行い、器具は 1 頭ごとに用意、もしくは水洗浄と消毒液洗浄を 1 頭ごとに行う）を前提としている。

5, 実証放牧モデル

調査対象となる牛の遺伝的要因（EBL 抵抗性・感受性アレル [21, 22]）や BLV プロウイルス保有量 [8, 23] といった感染リスクに関する個体情報や BLV 検査法による検出感度・精度は、BLV 対策効果の科学的検証に大きく影響を与える。そこで我々は、エビデンスを得るべく実証放牧モデルを設計した。具体的には、既報に従い [8, 23]、確実な感染源となる、血中 BLV プロウイルス量が 1,000 copies/50 ng of gDNA 以上の黒毛和種牛（＝感染高リスク牛）3 頭を感染牧区に配置した。さらに感染高リスク牛を配置したことで感染リスクが高い放牧地になったことを証明するため、PCR 検査で BLV 陰性が確実に証明された黒毛和種牛 2 頭を BLV 清浄牧場から導入し、おとり牛（陽転コントロール）として感染牧区に混牧した。これに対して、本コンセプトを実践した対策牧区には、おとり牛と同由来の BLV 陰性の黒毛和種牛 2 頭を配置した。陰性牛の陽転をモニタリングするため、2 週間毎に採血を行い、定量 PCR 法を用いて BLV プロウイルスの定量を行った。全ての牛は妊娠繁殖牛であり、春に分娩させ、そのまま自然哺育させる親子放牧を行い、産子の感染状況も合わせて調査した。同等条件の放牧試験を 2019 年（1 年目）および 2020 年（2 年目）に実施した。以上より、実証期間中に、「おとり牛の陽転」かつ「対策牧区の陰性牛の陰性維持（陽転ゼロ）」という結果が「2 年間再現」できれば、本コンセプトの有用性を示すエビデンスになると考えた。

6, 実証試験の結果

1年目：出生直後および生後1か月の調査の結果、感染高リスク母牛から産子への垂直感染は確認されなかった。感染牧区において、8月末におとり牛1頭からプロウイルスが検出され、陽転が確認された。さらに、放牧試験終了時の11月中旬に、感染牧区の子牛1頭についても陽転が確認された。一方、対策牧区では母牛および子牛共に陽転は一切確認されず、陰性を維持した。以上より、1年目の陽転率は、感染牧区のおとり母牛50%および子牛20%、対策牧区の母牛および子牛共に0%となり、良好な結果を得た。

2年目：7月に感染牧区のおとり牛の突然死（へい死体採血サンプルからBLV陰性を確認）が発生してしまったため、おとり牛頭数1頭にて試験を継続した。感染高リスク母牛の子牛において出生1日後の採血サンプルから、プロウイルスが検出されたことから、垂直感染発生と判定した。さらに感染牧区において、1年目と同様に8月末におとり牛の陽転が確認された。一方、対策牧区では母牛および子牛共に陽転は一切確認されなかった。以上より、2年目の試験では、垂直感染経路も含む陽転率は、感染牧区のおとり母牛100%（母数から突然死個体を除く）および子牛20%、対して、対策牧区の母牛および子牛共に0%となった。

2年間の実証を通して、感染牧区では母牛・子牛の水平感染および子牛の垂直感染が確認された一方、対策牧区における陽転は一切確認されなかったことから、本BLV伝播阻止策の有用性を示すエビデンスを得ることに成功した [24]。

7, おわりに

本試験ではコンセプトを構成する3つの対策それぞれの単独効果については明らかではないが、吸血昆虫によるBLV媒介を「三重策」で効果的に阻止し、対策牧区において陽転ゼロを達成できたものとする。本対策コンセプトは、5m幅の分離帯（域）に道路、農道や畑等を利用すれば、効率的な実施が可能である。アブトラップや駆虫薬等の活用は、放牧牛の衛生対策、ストレス低減そしてアニマルウェルフェア対応という観点から放牧飼養管理上の基本スペックであり、BLV対策としてコストが増加するものではない。さらに、BLV清浄化維持に努めている畜主が家畜市場での陰性表示の実施を求めている地域も出てきたり、一部の家畜市場ではすでにBLV陰性牛に通常相場より数万円高値の付加価値が付いたりしている。近年、新規就農の形で、耕作放棄地等を活用し、労働生産性の向上が可能な肉用繁殖牛の省力的放牧飼養経営も注目されている。以上から、経営的観点からも本放牧コンセプトが、公共牧場の効率化だけでなく、生産者の利益と持続的経営に貢献する可能性がある。

ただし、本対策効果を確実に得るためには、「牛白血病（牛伝染性リンパ腫）に関する衛

生対策ガイドライン」に準拠した人為的感染要因を確実に排除すること、そして、入牧時に正確に陽性牛と陰性牛を分離することが重要である。特に、実際の生産現場や公共牧場において、分離判定の基本である入牧前検査には労力的、時間的そして財政的条件が様々あり、正確な分離を実現することが難しい現実がある。この課題の打開は容易ではなく、生産者、牧場関係者、地域関係団体および獣医師等の協力体制と知識・情報の共有が不可欠である。

食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現させるための政策方針として策定された「みどりの食料システム戦略」を踏まえ、畜産分野では持続的な畜産物生産への転換を図っていくため、その課題解決に向けた取り組みのひとつとして国産飼料の生産・利用の推進があげられている。重要な国産飼料資源である草地利用が可能な放牧技術への期待はこれまで以上に大きく、放牧技術の推進のため、本研究のエビデンスが、清浄化に向けた有効性の高い放牧対策技術の開発に資し、BLV対策として分離放牧導入を図る際の現場の理解向上と意識改革に役立つことを強く期待する。

さいごに、本実証試験は、全国の家畜保健衛生所、NOSAI や農業普及指導センターが取り組まれている清浄化対策の報告や公共牧場の取り組み事例を参考にして実施したものである。皆様の日頃からの家畜衛生に対する挑戦と努力そして産業動物臨床にかける熱意に敬意を表したい。共同研究者の石崎宏氏、研究協力を頂いた手島茂樹氏、阪谷美樹氏、中尾誠司氏（以上、農研機構畜産研究部門）および木戸恭子氏、白石昭彦氏（以上、農研機構本部）に感謝の意を表す。技術サポートを頂いた農研機構管理本部技術支援部中央技術支援センター那須業務科諸氏ならびにつくば第7業務科御代田技術チーム諸氏、さらに試験牛に感謝の意を表す。本研究結果を広く公表する機会を与えて頂いた自給飼料利用研究会事務局に厚く御礼申し上げます。本稿に記載された著者らの動物実験は、所属機関の動物実験委員会の計画承認を得て、実施されたものである。開示すべき利益相反事項はない。

引用文献（引用順）：

- 1, 千田雅之. 2016. 放牧方式等の相違による肉用牛繁殖経営の収益性比較. 農業経営研究. 54:91-96.
- 2, 山本嘉人. 2018. 周年親子放牧による高収益繁殖経営. 日草試. 63(4):210-212.
- 3, 山本嘉人. 2020. 周年親子放牧の普及に向けた活動方向と課題. 日草試. 66(3):184-189.
- 4, Murakami, K., Kobayashi, S., Konishi, M., Kameyama, K., Tsutsui, T. 2013. Nationwide survey of bovine leukemia virus infection among dairy and beef breeding cattle in Japan from 2009-2011. J. Vet. Med. Sci. 75:1123-1126.
- 5, 小熊圭祐. 2019. 第2回 牛の感染症に関する全国アンケート クロス集計報告. 家畜感染症学会誌. 8(1):23-33.
- 6, Nuotio, L., Rusanen, H., Sihvonen, L., Neuvonen, E. 2003. Eradication of enzootic bovine leukosis from Finland. Prev. Vet. Med. 59:43-49.

- 7, Acaite, J., Tamosiunas, V., Lukauskas, K., Milius, J., Pieskus, J. 2007. The eradication experience of enzootic bovine leukosis from Lithuania. *Prev. Vet. Med.* 82:83-89.
- 8, 目堅博久. 2018. プロウイルス量に基づいた牛白血病対策ノススメ. *家畜感染症学会誌*. 7(4):163-168.
- 9, Evermann, J.F., DiGiacomo, R.F., Ferrer, J.F., Parishm, S.M. 1986. Transmission of bovine leucosis virus by blood inoculation. *Am. J. Vet. Res.* 47:1885-1887.
- 10, Bech-Nielsen, S., Piper, C.E., and Ferrer, J.F. 1978. Natural mode of transmission of the bovine leukemia virus: role of bloodsucking insects. *Am. J. Vet. Res.* 39:1089-1092.
- 11, Manet, G., Guilbert, X., Roux, A., Vuillaume, A., Parodi, A.L., 1989. Natural mode of horizontal transmission of bovine leukemia virus (BLV): the potential role of tabanids (*Tabanus* spp.). *Vet. Immunol. Immunopathol.* 22:255-263.
- 12, Oshima, K., Okada, K., Numakunai, S., Yoneyama, Y., Sato, B., Takahashi, I. 1981. Evidence on horizontal transmission of bovine leukemia virus due to blood-sucking tabanid flies. *Jpn. J. Vet. Sci.* 43:79-81.
- 13, Kohara, J., Konnai, S., Onuma, M. 2006. Experimental transmission of Bovine leukemia virus in cattle via rectal palpation. *Jpn. J. Vet. Res.* 54:25-30.
- 14, Kono, Y., Sentsui, H., Arai, K., Ishida, H. and Irishio, W. 1983. Contact transmission of bovine leukemia virus under insect-free conditions. *Jpn. J. Vet. Sci.* 45:799-802.
- 15, Mekata, H., Sekiguchi, S., Hayashi, T., Konnai, S., Kirino, Y., Honkawa, K., Nonaka, N., Horii, Y., Norimine, J. 2015. Evaluation of the natural perinatal transmission of bovine leukaemia virus. *Vet. Rec.* 176(10):254.
- 16, Sajiki, Y., Konnai, S., Nishimori, A., Okagawa, T., Maekawa, N., Goto, S., Nagano, M., Kohara, J., Kitano, N., Takahashi, T., Tajima, M., Mekata, H., Horii, Y., Murata, S., Ohashi, K. 2017. Intrauterine infection with bovine leukemia virus in pregnant dam with high viral load. *J. Vet. Med. Sci.* 78(12):2036-2039.
- 17, 石田秀史, 若林光伸, 本間裕一, 樋口良平, 渡辺大成, 鍋谷政広, 鳥屋雄司. 1997. 抗体陽性牛を吸血したアブからの牛白血病ウイルスの分離. *日獣会誌*. 50:519-522.
- 18, Kohara, J., Takeuchi, M., Hirano, Y., Sakurai, Y., Toshihiko Takahashi, T. 2018. Vector control efficacy of fly nets on preventing bovine leukemia virus transmission. *J. Vet. Med. Sci.* 80(10):1524-1527.

- 19, 松田敬一, 佐藤真由美, 大橋さやか, 遠藤祥子, 村松良永, 小井田有美, 鈴木一教. 2018. 臨床現場での牛白血病清浄化対策と問題点. 家畜感染症学会誌. 7(4):153-162.
- 20, 大島一郎, 木山孝茂, 松元里志, 廣瀬潤, 石井大介, 片平清美, 山口浩, 主税裕樹, 高山耕二, 中西良孝. 2014. 同一牛舎内隔離飼育が黒毛和種育成牛の牛白血病ウイルス伝播に及ぼす影響. 日本暖地畜産学会報. 57(1):31-36.
- 21, Juliarena, MA, Poli, M., Sala, L., Ceriani, C., Gutierrez, S., Dolcini, G., Rodríguez, EM, Mariño, B., Rodríguez-Dubra, C., Esteban, EN. 2008. Association of BLV infection profiles with alleles of the BoLA-DRB3.2 gene. Anim. Genet. 39:432-438.
- 22, Miyasaka, T., Takeshima, S., Jimba, M., Matsumoto, Y., Kobayashi, N., Matsubishi, T., Sentsui, H., Aida, Y. 2013. Identification of bovine leukocyte antigen class II haplotypes associated with variations in bovine leukemia virus proviral load in Japanese Black cattle. Tissue Antigens (HLA). 81:72-82.
- 23, Mekata, H., Yamamoto, M., Hayashi, T., Kirino, Y., Sekiguchi, S., Konnai, S., Horii, Y., Norimine, J. 2018. Cattle with a low bovine leukemia virus proviral load are rarely an infectious source. Jpn. J. Vet. Res. 66:157-163.
- 24, 芳賀聡, 石崎宏. 2022. 黒毛和種親子放牧における牛伝染性リンパ腫ウイルス伝播阻止コンセプトの有用性—伝播高リスク牛とおとり牛を用いた検証—. 家畜感染症学会誌 11(1) 15-30.