

学 術

Prototheca 属藻類による感染症

秋庭 正人

酪農学園大学獣医学群獣医学類

はじめに

Prototheca (プロトテカ) はクロレラに近縁な単細胞の藻類であるが、葉緑体にクロロフィルを欠くため、光合成を行わない従属栄養生物である^{1,2)}。自然界に自由に存在しており、無性生殖により増殖する。有機物が豊富で湿潤な環境を好み、海水、湖水、河川水、さまざまな植物材料、土壌、糞便、乳

汁など広範な検体から検出され^{2,3)}、ときに動物や人に感染症を引き起こす(表1)。特に牛では、農場内に定着して乳房炎の原因となることがあり、難治性であることから、発生時の経済的被害は大きい²⁾。藻類による感染症は、少なくとも牛以外ではまれであり、認知度は高くないと思われる。本稿では動物や人のプロトテカ症に関するこれまでの知見を概説する。

表1 プロトテカ属藻類による感染症

種名	宿主	臨床症状
<i>P. bovis</i>	牛	乳房炎(9, 12, 13, 44)
	犬	大腸炎, 眼や神経系における播種性結節(22, 23)
	猫	皮膚結節(25)
	馬	肉芽腫性鼻炎(21)
<i>P. blaschkeae</i>	牛	乳房炎(10, 44)
	人	爪甲真菌症(8)
<i>P. ciferrii</i>	犬	皮膚結節(23)
	人	皮膚炎または播種性結節(30)
<i>P. wickerhamii</i>	牛	乳房炎(11)
	犬	大腸炎, 眼や神経系における播種性結節(22, 23)
	猫	皮膚結節(27)
	山羊	鼻や皮膚に潰瘍性, 化膿性, 肉芽腫性炎(17, 18)
	魚(鯉)	体表面のびらん, 潰瘍, 結節(28)
<i>P. cutis</i>	人	皮膚炎または播種性結節(29)
	猫	鼻粘膜の結節(26)
	人	プロトテカ症(8)
<i>P. miyajii</i>	人	プロトテカ症(8, 31)
<i>P. bovis</i> or <i>P. ciferrii</i>	人	皮膚炎または播種性結節(29)

分類

プロトテカ属は緑藻植物門(*Chlorophyta*),トレボウクシア藻綱(*Trebouxiophyceae*)の1属である¹⁾。プロトテカという属名はKrügerによって1894年に創設された⁴⁾。2003年までにプロトテカ属として*P. zopfii*, *P. wickerhamii*, *P. stagnora*, *P. ulmea*, *P. moriformis*の5種が報告され,*P. zopfii*は牛や犬に対する病原性を,*P. wickerhamii*は人に対する病原性を有することが知られていた⁵⁾。Roslerらは18S rRNA 遺伝子の塩基配列に基づいて,*P. zopfii*を2つの遺伝子型(genotype 1とgenotype 2)と1つの新種,*P. blaschkeae*に再分類した⁶⁾。次いで, Jagielskiらは世界の微生物寄託機関に保存されている86株のプロトテカについて,ミトコンドリアの膜貫通蛋白であるチトクロームb(*cytB*)遺伝子の部分配列を用いた系統分類学的研究を行い,*P. zopfii* genotype 1を*P. ciferrii*に,*P. zopfii* genotype 2を*P. bovis*に昇格させるなど,これらの株を14種に整理した¹⁾。その後,新たな4種が報告され^{3,7)}。現時点でプロトテカ属には18種が含まれる。このうち,動物やヒトに対する病原性が報告されているのは,*P. bovis*, *P. blaschkeae*, *P. ciferrii*, *P. wickerhamii*, *P. cutis*, *P. miyajii*の6種である⁸⁾。これら6種による動物および人のプロトテカ症の臨床症状を表1に示した。次項では,プロトテカ感染症による病態を動物種ごとに概説する。

病態

1 牛乳房炎

牛乳房炎は微生物が乳房内に侵入,増殖して乳腺組織に炎症を引き起こすもので,乳質と泌乳量の低下を招く⁹⁾。牛乳の廃棄,治療,淘汰等により,酪農産業に甚大な経済被害をもたらしている。原因となる微生物は主に細菌であるが,藻類であるプロトテカによる牛乳房炎も世界中で発生している。原因となるプロトテカ種は主に*P. bovis*であり,まれに*P. blaschkeae*や*P. wickerhamii*も乳房炎の原因となる⁹⁻¹³⁾。乳牛の飼養環境はプロトテカの重要なリザーバーと考えられており,敷料,糞便,餌槽,水

槽等からは*P. bovis*の他,*P. blaschkeae*や*P. ciferrii*が分離される⁹⁾。

かつて*P. bovis* genotype 1及び2と呼ばれた,*P. ciferrii*と*P. bovis*は遺伝学的には近縁であるが,後者が牛に乳房内感染を引き起こすのに対し,前者は糞便や牛舎環境から分離され,乳汁からは分離されない⁹⁾。牛の乳腺上皮細胞に両者を感染させる実験において,*P. bovis*の方が増殖能と付着能が高いことが示されている¹⁴⁾。また,感染した乳腺上皮細胞の生残率は*P. bovis*感染で有意に低下し,アポトーシスは*P. bovis*感染でのみ観察されることが報告されている。さらに,マウス乳腺炎モデルを用いた実験において,*P. bovis*が乳腺内で増殖することでマクロファージや好中球の浸潤を誘導し,サイトカインの発現上昇を伴う激しい炎症とアポトーシスを引き起こすことが示されている¹⁵⁾。

*P. bovis*による乳房炎は体細胞数が多く(10^6 /ml以上),臨床兆候を認めない慢性の経過をたどることが多いが,急性の臨床型乳房炎を起こすこともある¹⁶⁾。実験的には40~480 CFUのプロトテカを乳頭口から注入することで,進行性の化膿性肉芽腫性炎症が観察される。急性例では漿液性化膿性乳房炎が観察され,乳汁中,乳腺上皮細胞,マクロファージ,間質に多数のプロトテカ細胞が認められる。慢性例では乳房の腫脹,硬結を認め,間質結合組織の顕著な増殖と乳腺胞の萎縮が同時に観察される。細菌性乳房炎との比較において,プロトテカによる乳房炎の特徴は乳房組織への単核球の浸潤がより顕著であることと,微小肉芽腫の形成である。乳汁は体細胞数の増加,泌乳量の減少を認め,悪化すると白色の凝塊を含む水溶性となる場合もある。発熱,食欲不振などの全身症状はほとんど示さない。臨床的特徴から,プロトテカによる乳房炎は細菌性乳房炎と区別できない。

2 小反芻獣のプロトテカ症

小反芻獣では*P. wickerhamii*によるプロトテカ症が散発的に発生する。山羊では鼻前庭,鼻腔粘膜皮膚接合部,顔面皮膚などに潰瘍性,化膿性肉芽腫性,壊死性の病変が形成され,鼻の通気性の低下に基づく呼吸困難や鼻閉音などの症状を呈する^{17,18)}。とき

に骨髓炎を引き起こすこともあるが、主要な病変が鼻であることを考えると、山羊がプロトテカに汚染された水などに鼻腔粘膜や皮膚が接触することで感染したものと推察される。長期にわたって進行する症例が報告されており、粘膜や鼻腔に深く浸潤した病変を認めることもある。また、実験的には *P. bovis* が山羊に乳房炎を引き起こすことが示されている¹⁹⁾。一方、羊では様々な臓器に典型的な緑色の肉芽腫性病変を形成するクロレラ症が発生する場合がある²⁰⁾。

3 馬のプロトテカ症

馬では *P. bovis* と真菌の一種である *Pithomyces chartarum* の混合感染により、肉芽腫性鼻炎を発症した例が報告されている²¹⁾。この症例では数週間にわたって膿性鼻汁の排出と鼻出血が認められ、鼻粘膜の腫脹により鼻腔の一部が閉塞した。内視鏡検査では上顎洞の一部に壊死性の炎症が観察され、組織学的には単核球の浸潤と化膿性肉芽腫性鼻炎が認められた。

4 小動物のプロトテカ症

犬猫のプロトテカ症は慢性的に進行し、他の多くの疾病との鑑別が必要となるため、診断の難しい感染症である。犬では *P. bovis*, *P. ciferrii*, *P. wickerhamii* の感染により、プロトテカ症が引き起こされる^{22,23)}。多くの症例で、最初に難治性の大腸炎を呈することから、感染経路は経口である可能性が示唆されている。その後、血行性に器官に播種される傾向があり、目と中枢神経系に強い指向性が認められる。*P. wickerhamii* の感染では皮膚炎を呈することが多いのに対し、*P. bovis* や *P. ciferrii* はより多くの組織に播種され、浸潤性が高いことが報告されている。犬プロトテカ症のほとんどの症例では、症状の進行により犬が死亡するか、安楽殺が行われる²²⁾。

猫では *P. wickerhamii*, *P. bovis*, および *P. cutis* が皮膚結節や呼吸器症状に関与したことが報告されている²⁴⁻²⁷⁾。多くの発生では病変は限局的であるが、病変部位は末梢性・遠位性である。*P. cutis* の感染は免疫不全の成猫で確認された。

5 魚のプロトテカ症

魚類では、養殖場において *P. wickerhamii* による鯉のプロトテカ症の発生報告がある²⁸⁾。感染鯉は発育不良を呈し、遊泳行動は不安定で緩慢であった。また、体表面にびらん、潰瘍、結節などの複数の病変が認められた。

6 人のプロトテカ症

人からは *P. wickerhamii*, *P. cutis*, *P. miyajii*, *P. blaschkeae*, および *P. ciferrii* の分離が報告されている^{8,29-31)}。一般的には限局性の皮膚疾患として認められ、まれに播種感染を引き起こす。基礎疾患を有する免疫不全患者では播種性プロトテカ症のリスクが高く、局所皮膚感染より死亡率が高い。

診 断

牛乳房炎であれば乳汁から、皮膚炎であれば患部検査材料からの分離・同定が診断の基本である。プロトテカに限らず、牛乳房炎の診断では5%羊血液加寒天培地に乳汁を塗布し、37°Cで1~2日間培養することで原因菌を分離する。2日以上培養するとプロトテカは不整形で表面粗造な白色コロニーとして観察される。糞便や環境材料などからプロトテカを分離するための選択培地として、Pore が考案した *Prototheca* isolation medium (PIM) が広く使用されている³²⁾。PIMにはプロトテカ以外の藻類、真菌、細菌の発育を抑制するため、選択剤としてフタル酸水素カリウムと5-フルオロシトシンが含まれている。5%羊血液寒天培地の場合と同様、PIM上でプロトテカは不整形で表面粗造な白色コロニーを形成する(図1)。

分離株については、孢子嚢胞子の形状観察、炭水化物同化試験、異なる温度条件での発育の有無確認などが同定の根拠となるが(表2)^{1,4)}、これらの表現型に基づく同定法は手間と時間を要し、再現性も高くないことから、現在では分子生物学的手法を利用した同定法が一般的となっている。このうち、rRNA遺伝子の塩基配列の相違に基づく同定法がいくつ考案されているが、普及していない³³⁾。近年のプロトテカ属の分類は *cytB* 遺伝子の塩基配列に

基づいて行われていることから、この領域の塩基配列を解読し、相同性解析をおこなうことが、簡便かつ精度の高い同定につながると考えられる³³⁾。増幅産物の塩基配列解析に要する時間を短縮するため、PCR-RFLPによる同定法も考案されている³³⁾。また、農場での診断を可能とする簡易迅速検査法として、rRNA 遺伝子を標的としたループ介在等温増幅 (Loop-mediated isothermal amplification, LAMP) 法が報告されている³⁴⁾。細菌や真菌の同定法として近年、質量分析計による同定が検査センターなどに普

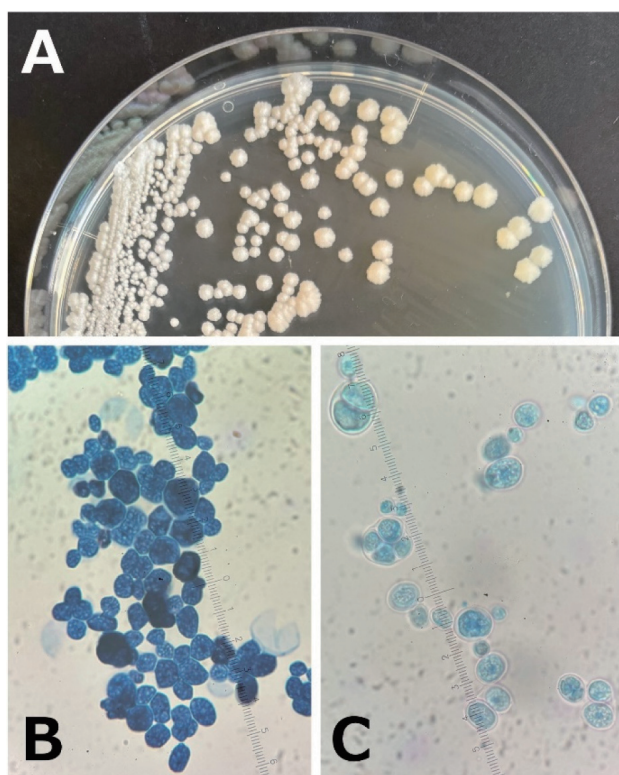


図1 PIM培地で37°C, 72時間培養後の*Prototheca bovis*のコロニー(A), グラム染色像(B), ラクトフェノールコットンブルー染色像(C)

及しつつあるが、プロトテカに関してはライブラリーに十分な情報が格納されていないため、主要種以外を種レベルで同定することは難しいと思われる。

感染症の発生時に感染源や感染ルートを特定しようとするとき、同じ種に属する株を互いに識別する手法が必要となる。血清型別やファージ型別といった表現型にもとづく型別が確立されていない場合は、分子生物学的手法を用いて遺伝子型別を行う。プロトテカの遺伝子型別法としては、Randomly amplified polymorphic DNA (RAPD)-PCR 法による型別が報告されている^{35,36)}。2024年12月時点でプロトテカの完全長全ゲノム塩基配列に関する報告はなく、Multilocus variable-number tandem-repeat analysis (MLVA) 法や Multilocus sequence typing (MLST) 法といった遺伝子型別法に関する報告もない。

酵素免疫測定法 (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) による特異抗体の測定法が報告されている。血清中の IgG と、乳清中の IgA および IgG のいずれも検出可能であるが、抗体価測定による診断法としては乳清中 IgG の検出で、高い感度と特異度が得られたことが報告されている³⁷⁾。また、乳清中の IgA と IgG は、体細胞数との間に高い相関が認められるが、乳汁中のプロトテカ細胞数との相関は低いことが報告されている。ELISAにより、乳汁中にプロトテカを排出する牛を特定することは難しいと思われる³⁸⁾。

制御と予防

プロトテカによる牛乳房炎の制御と予防において

表2 プロトテカ属6種の特徴

種名	株名	炭水化物同化試験				異なる温度での発育		
		フルクトース	ガラクトース	トレハロース	1-プロパノール	37°C	40°C	42°C
<i>P. bovis</i>	SAG2021 [†]	+	-	-	+	+	+	+
<i>P. blaschkeae</i>	SAG2064 [†]	+	+	-	+	+	+	-
<i>P. ciferrii</i>	SAG2063 [†]	+	+	+	+	+	+	-
<i>P. wickerhamii</i>	NUBS 19001	+	+	+	-	+	-	-
<i>P. cutis</i>	JCM 15793 [†]	+	+	+	-	+	-	-
<i>P. miyajii</i>	IFM 53848 [†]	-	+	+	-	+	+	+

Kano ら(8)より引用改変

[†], Type strain

推奨される主な措置は、早期診断、搾乳手順の適正化、汚染畜舎の消毒と乾燥、および罹患動物の早期処分である²⁾。プロトテカは真核生物なので、多くの抗菌薬には感受性を示さないことが想定される。抗菌薬の使用が乳房内の常在細菌叢に影響を与え、藻類による環境汚染の割合が高い地域における乳牛のプロトテカ症の増加に関係している可能性が指摘されている³⁹⁾。

プロトテカの制御に有効な化学物質の探索が行われている。牛乳房炎由来のプロトテカ48株を用いた薬剤感受性試験では、抗真菌薬であるアンホテリシンBが全ての株に対して増殖を抑制し、抗菌薬であるゲンタマイシンとコリスチンは、それぞれ96%および90%の株に対して有効であった³⁶⁾。人由来株を用いた研究では、アンホテリシンBとほとんどのアゾール系抗真菌薬がプロトテカに対して殺菌効果を示した⁴⁰⁾。*P. bovis* と *P. ciferrii* の各11株を用いて消毒薬の効果を調べた研究では、クロルヘキシジン、ポピドンヨード、次亜塩素酸ナトリウムなどが有効であった⁴¹⁾。また、植物由来化学物質であるカルバクロール、シトラール、およびチモールが小動物や牛に由来するプロトテカに有効とする報告もある⁴²⁾。これらは全て試験管内における評価であり、臨床あるいは生産現場における予防と制御において、どれほどの効果を発揮するかについては、今後の検討課題である。

獣医学領域では、プロトテカ症に対する確立されたプロトコルはないと認識されている。プロトテカによる牛乳房炎では、牛群内に病原体が拡散する恐れがあるので、治療的処置は推奨されていない²⁾。感染乳房に対する盲乳処置や感染牛の淘汰が現実的な対応となっている。小動物臨床では、経口イトラコナゾールによるパルス療法で犬の皮膚プロトテカ症が治癒した例が報告されている⁴³⁾。また、山羊の乳房内実験感染モデルにおいて導電性高分子であるポリピロールが *P. bovis* の細胞数を減少させたという報告がある¹⁹⁾。

おわりに

乳牛の飼養環境は一部のプロトテカ属種の主要な

リザーバーであり、農場に定着すると、清浄化することは難しい。また、乳房炎を起こした場合、多くは難治性であることから、感染乳房の盲乳処置か牛の早期処分といった選択肢しかないのが現状である。抗菌薬の使用が乳房内に常在する細菌叢に影響し、プロトテカによる乳房炎発症のリスク要因になる可能性が指摘されていることから、今後、注視すべき病原体と考えられる。また、認知度の低さから、小動物のプロトテカ症については誤診されているケースがあるかもしれない。本稿で概説したとおり、プロトテカ感染症については不明な点が多い。ゲノム解析、分子疫学的解析、乳汁中に存在するプロトテカの簡易迅速検出技術の開発、予防・治療法の開発等、多くの課題が残されている。

引用文献

- 1) Jagielski T, Bakula Z, Gawor J, Maciszewski K, Kusber WH, Dyląg M, Nowakowska J, Gromadka R, Karnkowska A. 2019. The genus *Prototheca* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) revisited: Implications from molecular taxonomic studies. *Algal Research* 43:101639.
- 2) Ely VL, Espindola JP, Barasuol BM, Sangioni LA, Pereira DB, Botton SA. 2023. Protothecosis in Veterinary Medicine: A minireview. *Lett Appl Microbiol* 76.
- 3) Jagielski T, Iskra M, Bakula Z, Rudna J, Roeske K, Nowakowska J, Bielecki J, Krukowski H. 2022. Occurrence of *Prototheca* microalgae in aquatic ecosystems with a description of three new species, *Prototheca fontanea*, *Prototheca lentescens*, and *Prototheca vistulensis*. *Appl Environ Microbiol* 88(22):e0109222.
- 4) Pore RS. 2011. *Prototheca* Krüger (1894), p 2071-2080. In Kurtzman CP, Fell JW, Boekhout T (ed), *The Yeasts, a Taxonomic Study*, 5 ed, vol 3. Elsevier.
- 5) Roesler U, Scholz H, Hensel A. 2003. Emended phenotypic characterization of *Prototheca zopfii*: a proposal for three biotypes and standards for their identification. *Int J Syst Evol Microbiol* 53:1195-1199.
- 6) Roesler U, Moller A, Hensel A, Baumann D, Truyen U. 2006. Diversity within the current algal species *Prototheca zopfii*: a proposal for two *Prototheca zopfii* genotypes and description of a novel species, *Prototheca blaschkeae* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol* 56:1419-1425.
- 7) Kunthiphun S, Endoh R, Takashima M, Ohkuma M, Tanasupawat S, Savarajara A. 2019. *Prototheca paracutis* sp. nov., a novel oleaginous achlorophyllous microalga isolated from a mangrove forest. *Mycoscience* 60:165-169.
- 8) Kano R, Satoh K, Yaguchi T, Masuda M, Makimura K, Sybren de Hoog G. 2022. Phenotypic characteristics of

- Prototheca* species occurring in humans and animals. Med Mycol J 63:17-20.
- 9) Jagielski T, Roeske K, Bakula Z, Piech T, Wlazlo L, Bochniarz M, Woch P, Krukowski H. 2019. A survey on the incidence of *Prototheca* mastitis in dairy herds in Lublin province, Poland. J Dairy Sci 102:619-628.
 - 10) Ricchi M, De Cicco C, Buzzini P, Cammi G, Arrigoni N, Cammi M, Garbarino C. 2013. First outbreak of bovine mastitis caused by *Prototheca blaschkeae*. Vet Microbiol 162:997-999.
 - 11) Marques S, Silva E, Carvalheira J, Thompson G. 2006. Short communication: In vitro antimicrobial susceptibility of *Prototheca wickerhamii* and *Prototheca zopfii* isolated from bovine mastitis. J Dairy Sci 89:4202-4204.
 - 12) Sobukawa H, Yamaguchi S, Kano R, Ito T, Suzuki K, Onozaki M, Hasegawa A, Kamata H. 2012. Short communication: Molecular typing of *Prototheca zopfii* from bovine mastitis in Japan. J Dairy Sci 95:4442-6.
 - 13) Li J, Chen X, Jin E, Wang G, Wu L, Shao Z, Wan P, Hu C, Li J, Chen J, Ding M. 2021. A survey of *Prototheca bovis* infection in dairy farms of the Hubei province, China. J Vet Med Sci 83:1248-1255.
 - 14) Shahid M, Wang J, Gu X, Chen W, Ali T, Gao J, Han D, Yang R, Fanning S, Han B. 2017. *Prototheca zopfii* induced ultrastructural features associated with apoptosis in bovine mammary epithelial cells. Front Cell Infect Microbiol 7:299.
 - 15) Shahid M, Cobo ER, Chen L, Cavalcante PA, Barkema HW, Gao J, Xu S, Liu Y, Knight CG, Kastelic JP, Han B. 2020. *Prototheca zopfii* genotype II induces mitochondrial apoptosis in models of bovine mastitis. Sci Rep 10:698.
 - 16) Janosi S, Ratz F, Szigeti G, Kulcsar M, Kerenyi J, Lauko T, Katona F, Huszenicza G. 2001. Review of the microbiological, pathological, and clinical aspects of bovine mastitis caused by the alga *Prototheca zopfii*. Vet Q 23:58-61.
 - 17) Macedo JTSA, Riet-Correa F, Dantas AFM, Simoes SVD. 2008. Cutaneous and nasal protothecosis in a goat. Vet Pathol 45:352-354.
 - 18) Camboim EK, Garino FJ, Dantas AF, Simoes SV, Melo MA, Azevedo EO, Mota RA, Riet-Correa F. 2011. Protothecosis by *Prototheca wickerhamii* in goats. Mycoses 54:e196-200.
 - 19) Ely VL, Cargnelutti JF, Ries AS, Gressler LT, Costa S, Braz PH, Pötter L, Matiuzzi da Costa M, Gomes da Silva JF, Pequeno de Oliveira H, Sangioni LA, Pereira DIB, Botton SDA. 2023. *Prototheca bovis* in goats: Experimental mastitis and treatment with polypyrrole. Microb Pathog 174:105950.
 - 20) Riet-Correa F, Carmo P, Uzal FA. 2021. Protothecosis and chlorellosis in sheep and goats: A review. J Vet Diagn Invest 33:283-287.
 - 21) Schoniger S, Roschanski N, Rosler U, Vidovic A, Nowak M, Dietz O, Wittenbrink MM, Schoon HA. 2016. *Prototheca* species and *Pithomyces chartarum* as causative agents of rhinitis and/or sinusitis in horses. J Comp Pathol 155:121-125.
 - 22) Stenner VJ, Mackay B, King T, Barrs VRD, Irwin P, Abraham L, Swift N, Langer N, Bernays M, Hampson E, Martin P, Krockenberger MB, Bosward K, Latter M, Malik R. 2007. Protothecosis in 17 Australian dogs and a review of the canine literature. Med Mycol 45:249-266.
 - 23) Falcaro C, Furlanello T, Binanti D, Fondati A, Bonfanti U, Krockenberger M, Malik R, Danesi P. 2021. Molecular characterization of *Prototheca* in 11 symptomatic dogs. J Vet Diagn Invest 33:156-161.
 - 24) Masuda M, Jagielski T, Danesi P, Falcaro C, Bertola M, Krockenberger M, Malik R, Kano R. 2021. Protothecosis in dogs and cats-new research directions. Mycopathologia 186:143-152.
 - 25) Huth N, Wenkel RF, Roschanski N, Rosler U, Plagge L, Schoniger S. 2015. *Prototheca zopfii* genotype 2-induced nasal dermatitis in a cat. J Comp Pathol 152:287-90.
 - 26) Maboni G, Elbert JA, Stilwell JM, Sanchez S. 2021. Genomic and pathologic findings for *Prototheca cutis* infection in cat. Emerg Infect Dis 27:979-982.
 - 27) Endo S, Sekuguchi M, Kishimoto Y, Kano R, Aoki S, Sichinohe T, Hasegawa A. 2010. The first case of feline *Prototheca wickerhamii* infection in Japan. J Vet Med Sci 72 (10):1351-1353.
 - 28) Jagielski T, Dyląg M, Roesler U, Murugaiyan J. 2017. Isolation of infectious microalga *Prototheca wickerhamii* from a carp (*Cyprinus carpio*)- a first confirmed case report of protothecosis in a fish. J Fish Dis 40 (10):1417-1421.
 - 29) Chen F, Saab-Chalhoub M, Tao J, Harrington AT, Albarillo FS, Crone AS, Clark NM, Speiser JJ. 2023. Disseminated protothecosis due to *Prototheca zopfii* and literature review. Am J Dermatopathol 45 (4):237-241.
 - 30) Hirose N, Hua Z, Kato Y, Zhang Q, Li R, Nishimura K, Masuda M. 2018. Molecular Characterization of *Prototheca* strains isolated in China revealed the first cases of protothecosis associated with *Prototheca zopfii* genotype 1. Med Mycol 56:279-287.
 - 31) Cullen GD, Yetmar ZA, Fida M, Abu Saleh OM. 2023. *Prototheca* Infection: a descriptive study. Open Forum Infect Dis 10:ofad294.
 - 32) Pore RS. 1973. Selective medium for the isolation of *Prototheca*. Appl Microbiol 26 (4):648-649.
 - 33) Jagielski T, Gawor J, Bakula Z, Decewicz P, Maciszewski K, Karnkowska A. 2018. *cytb* as a new genetic marker for differentiation of *Prototheca* species. J Clin Microbiol 56.
 - 34) Rivelli Zea SM, Itoh M, Toyotome T. 2024. Development of loop-mediated isothermal amplification for the detection of *Prototheca bovis* directly from milk samples of dairy cattle. Mycopathologia 189:1.
 - 35) Morandi S, Cremonesi P, Capra E, Silvetti T, Decimo M, Bianchini V, Alves AC, Vargas AC, Costa GM, Ribeiro MG, Brasca M. 2016. Molecular typing and differences in biofilm formation and antibiotic susceptibilities among *Prototheca* strains isolated in Italy and Brazil. J Dairy Sci 99:6436-6445.
 - 36) Tashakkori N, Rahmani HK, Khoramian B. 2022. Genotypic and phenotypic diversity of *Prototheca* spp. recovered from bovine mastitis in terms of antimicrobial resistance and

- biofilm formation ability. BMC Vet Res 18:452.
- 37) Roesler U, Scholz H, Hensel A. 2001. Immunodiagnostic identification of dairy cows infected with *Prototheca zopfii* at various clinical stages and discrimination between infected and uninfected cows. J Clin Microbiol 39 (2):539-543.
- 38) Roesler U, Hensel A. 2003. Longitudinal analysis of *Prototheca zopfii*-specific immune responses: correlation with disease progression and carriage in dairy cows. J Clin Microbiol 41 (3):1181-1186.
- 39) Pieper L, Godkin A, Roesler U, Polleichtner A, Slavic D, Leslie KE, Kelton DF. 2012. Herd characteristics and cow-level factors associated with *Prototheca mastitis* on dairy farms in Ontario, Canada. J Dairy Sci 95:5635-44.
- 40) Proskurnicka A, Župnik K, Bakula Z, Iskra M, Rösler U, Jagielski T. 2023. Drug susceptibility profiling of *Prototheca* species isolated from cases of human protothecosis. Antimicrob Agents Chemother 67 (4):e0162722.
- 41) Sobukawa H, Watanabe M, Kano R, Ito T, Onozaki M, Hasegawa A, Kamata H. 2011. In vitro algacide effect of disinfectants on *Prototheca zopfii* genotypes 1 and 2. J Vet Med Sci 73 (11):1527-1529.
- 42) Nojo H, Ishijima SA, Morikawa M, Ito T, Kano R. 2024. In vitro susceptibility testing of phytochemicals from essential oils against *Prototheca* species. J Vet Med Sci 86:847-849.
- 43) Gmyterco VC, Jagielski T, Baldasso G, Bacher LH, Ribeiro MG, de Farias MR. 2023. Cutaneous protothecosis in a dog successfully treated with oral itraconazole in pulse dosing. Acta Vet Scand 65:7.
- 44) Marques S, Huss VA, Pfisterer K, Grosse C, Thompson G. 2015. Internal transcribed spacer sequence-based rapid molecular identification of *Prototheca zopfii* and *Prototheca blaschkeae* directly from milk of infected cows. J Dairy Sci 98:3001-9.

プロフィール

秋庭正人

略歴

- 1990年 日本獣医畜産大学獣医畜産学部獣医学科
卒業
- 1990年 協和発酵工業株式会社
- 1994年 農林水産省家畜衛生試験場（現農研機構動物衛生研究部門）
- 2017年 農研機構動物衛生研究部門 細菌・寄生虫研究領域 領域長
- 2019年 農研機構動物衛生研究部門 研究推進部長
- 2022年 酪農学園大学獣医学群獣医学類 教授