

要約

搾乳ロボットで乳牛を管理する農場を訪問して、乳汁、腸内容物および牛舎環境の細菌叢を次世代シーケンサー (MiSeq) で調査した。第1の課題として、乳汁のサンプリング手法について検討した。自動搾乳と手搾りでは細菌叢に違いがあることを明らかにし、乳汁のサンプルは分房乳を手搾りで採取することに決定した。第2の課題では、飼料、ルーメン液、糞便、乳汁、牛床、水および空気粉塵をサンプリングし、それらの細菌叢と相互の関連について調査した。飼料、ルーメン液、糞便、牛床および水で最も多かったのは、それぞれ *Lactobacillaceae*、*Prevotellaceae*、*Ruminococcaceae*、*Ruminococcaceae* および *Lactobacillaceae* であった。調査した2軒のうち、農場1の乳汁と空気粉塵には *Aerococcaceae* が最も多く、農場2の乳汁と空気粉塵にはそれぞれ *Staphylococcaceae* と *Lactobacillaceae* が最も多く検出された。乳汁と空気粉塵の上位3菌種は共通しており、農場1では *Aerococcaceae*、*Staphylococcaceae* および *Ruminococcaceae* が、農場2では *Staphylococcaceae*、*Lactobacillaceae* および *Ruminococcaceae* が検出された。統計解析の結果、乳汁の細菌叢は飼料、ルーメン液、糞便および水のそれらとは関連が乏しく、空気粉塵および牛床の細菌叢と強く関係することが示された。第3の課題では、乳汁、糞便、空気粉塵および牛床のサンプリングを、夏季および冬季に計15回行った。糞便の細菌叢は季節に関わらず安定していたが、空気粉塵と牛床の細菌叢は夏季と冬季で多くの違いがあった。乳汁の細菌叢も夏季と冬季で違いが認められたが、上位菌種はおおよそ安定しており、*Corynebacteriaceae* を除き、空気粉塵および牛床の細菌叢と季節による差異が一致するものはなかった。少数の農場における調査ではあるが、搾乳ロボットを導入した農場における乳汁、腸内容物および牛舎環境の細菌叢を明らかにし、牛舎の衛生管理が乳質改善と乳房炎予防に重要であることを確認した。

1. はじめに

搾乳ロボットが導入されてから25年が経過し、日本国内の稼働数はおおよそ700台にまで増加した。普及の速度はこれまで必ずしも大きくなかったが、現有パーラーの更新や生産者の世代交代が進めば、搾乳ロボットの導入は着実に増加すると予想されている。1日当たりの搾乳回数は3回以上になり、乳量もおおよそ1割増加するというのが期待されるメリットである。人が乳房に触れることがないので、伝染性乳房炎が減少することも期待されているが、搾乳回数が増えることで乳腺の回復が遅れる、乳房炎の疑いがあっても搾乳順序を最後にすることができず、伝染性乳房炎はかえって予防が困難になるなど、搾乳ロボットによる乳房炎増加を懸念する声もある。

乳房炎予防を目的とした細菌叢調査は数多く行われているが、搾乳ロボット管理下の牛群を対象としたものは全くない。次世代シーケンサー (MiSeq) が普及し、主座標分析 (PCoA) 等によるデータ解析手法も高度化しているが、乳汁細菌叢を変動させる要因およびその制御技術は明らかになっていない。大腸菌や腸球菌といった糞便細菌が主な汚染菌と指摘する声は少なくないが、牛床の細菌叢と腸内のそれは同じでない。搾乳ロボットによる乳房洗浄が、これまでの慣行法に比べて、細菌汚染を低減しているという保証もない。

本調査では、搾乳ロボット (Lely Astronaut) での管理経験が十分ある岡山県および広島県の農場でサンプリングを行い、乳汁および牛舎環境の細菌叢がどのようなものか、それらがどのように関係しているかを調べた。3つの課題に取り組んだが、第1の課題は乳汁のサンプリング手法についてである。乳汁細菌叢の正しい理解には、手搾りで分房乳を採取することが望ましいが、搾乳ロボットには個々の乳牛から乳汁を自動採取する機能がある。手搾りと

自動採取の乳汁細菌叢を比較し、その後のサンプリングを手搾りで行うことに決定した。第2の課題は、乳汁、飼料(TMR)、ルーメン液、糞便、牛床、水および空気粉塵の細菌叢調査である。MiSeq データを統計解析したところ、乳汁の細菌叢は空気粉塵および牛床のそれらと関連が深いことが明らかとなった。第3の課題は、乳汁、糞便、牛床および空気粉塵細菌叢の、サンプリング月および季節による変動調査である。第2の課題は岡山県および広島県で1回調査しただけであり、得られた知見が再現性のあるものかを確認する必要があった。牛床の細菌叢を MiSeq で調べた研究は、数は限られているもののゼロではない。しかし、空気粉塵に関する情報は全くなく、季節による差異あるいは変動の有無も分かっていなかった。夏季に6回、冬季に9回のサンプリングを行って調べたところ、乳汁と空気粉塵および牛床の細菌叢はやはり関連があると判断された。

本調査で採取した乳汁サンプルは、搾乳中すなわち乳房炎を発症していない健康牛のである。実際の体細胞数は最大で約130万/mLだったため、体細胞数だけでみると乳房炎という個体も存在した。しかし、臨床症状を示した個体はなく、以下に述べる知見は、基本的に健康牛における乳汁、腸内および環境細菌叢の関係である。乳房炎の予防には罹患牛を含めた調査を行う必要があるが、乳汁と牛舎環境の細菌叢がどのように関連するかについては、罹患牛、健康牛に共通したことであろう。限られた数の調査事例ではあるが、搾乳ロボットで管理された乳牛に関する、有用な情報になり得ると考えている。

2. 自動採取した乳汁と手搾りで採取した乳汁の細菌叢

フリーストールおよび発酵 TMR の給与で牛群を管理する岡山県の農場を訪問し、搾乳牛(ホルスタイン種)3頭から5月および7月に乳汁を採取した。選択した3頭は搾乳ロボットで07:00–10:00に乳汁を採取された個体であり、手搾りでの分房乳採取時間(10:00–11:00)と差が大きいサンプルを得るようにした。

細菌 DNA は DNeasy Blood & Tissue Kit (QIAGEN)を用いて精製し、16S rRNA genes の V4 領域を対象とする PCR を行って、MiSeq (Illumina)による次世代シーケンス解析を行った。得られたデータを QIIME、USEARCH、Greengenes 等を用いて OTU (Operational Taxonomic Unit)の系統情報とし、ヒートマップおよびクラスター解析を Primer version 7 (Primer-E)で、一元あるいは二元配置分散分析を JMP (version 11; SAS Institute)で行った。

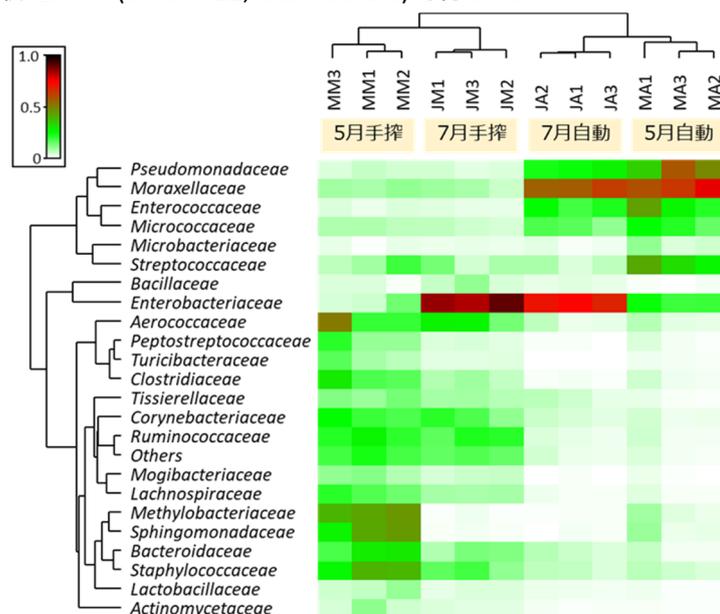


図1. 搾乳ロボットで管理されている乳牛から、自動搾乳および手搾りで採取した乳汁の細菌叢。5月および7月にサンプリングを行った。

乳汁採取日の乳量および体細胞数は、5月が 32.4–49.6 kg/day および 8.2–36.2 万/mL、7月 が 32.8–53.6 kg/day および 5.0–31.5 万/mL であった。同じ 3 頭から 5 月および 7 月に乳汁を採取したが、手搾りの乳汁では採取月による違いが大きかった。

5 月の手搾り乳汁に見られた上位 5 菌種は *Methylobacteriaceae* (17.8%)、*Sphingomonadaceae* (14.9%)、*Staphylococcaceae* (12.4%)、*Aerococcaceae* (11.2%) および *Bacteroidaceae* (6.4%) であったが、7 月の手搾り乳汁には *Enterobacteriaceae* (73.6%) が非常に高い割合で検出され、*Aerococcaceae* (5.3%)、*Ruminococcaceae* (3.8%)、*Staphylococcaceae* (2.3%) および *Bacteroidaceae* (1.2%) がいずれも低い割合で認められた(図 1)。

自動採取と手搾りの乳汁では細菌叢に大きな違いが認められた。5 月の自動採取乳汁では *Moraxellaceae* (45.1%)、*Pseudomonadaceae* (22.5%)、*Streptococcaceae* (11.2%)、*Enterobacteriaceae* (4.3%) および *Micrococcaceae* (4.2%) が、7 月の乳汁では *Enterobacteriaceae* (50.4%)、*Moraxellaceae* (34.1%)、*Pseudomonadaceae* (6.0%)、*Enterococcaceae* (4.8%) および *Micrococcaceae* (2.2%) が上位 5 機種であり、7 月サンプルの *Enterobacteriaceae* を除き、自動採取と手搾りの乳汁に共通するものは、上位 5 菌種には認められなかった。

手搾りの乳汁には *Methylobacteriaceae* および *Sphingomonadaceae* が数多く検出された。乳汁にこれらの細菌を検出した報告は他にもあるが、乳房炎との関連は指摘されていない。代表的な乳房炎原因菌である黄色ブドウ球菌(*Staphylococcus aureus*)は *Staphylococcaceae* に含まれるが、本調査でサンプルを採取した乳牛は、いずれも乳房炎に罹患していない健康牛である。手搾りの乳汁には 10%以上の *Staphylococcaceae* が検出されたが、その割合だけで乳房炎になるということはないと判断した。なお現状では、MiSeq の細菌叢データを、種 (species)あるいは属(genus)レベルで分類することは難しい。科(family)レベルでは十分な議論ができないという欠点はあるが、これまでにない情報が得られていることは間違いない。

自動採取の乳汁で特徴的に認められたのは、低温細菌の *Moraxellaceae* と *Pseudomonadaceae* である。自動採取後保存容器の中で増殖したという可能性もあるが、搾乳ロボットのホースやパイプラインに付着しているものかもしれない。それらの検証はできていないが、自動採取の機能があるとしても、乳汁の細菌叢解析は分房乳を手搾りで得ることが望ましいと結論した。

3. 乳汁、飼料、ルーメン液、糞便、牛床、空気粉塵および水の細菌叢

岡山県(4月)および広島県(9月)の農場を訪問し、それぞれ搾乳牛 3 頭から乳汁、ルーメン液および糞便(直腸糞)を採取した。岡山県の農場は上記 2 の調査農場と同じであり、広島県の農場もフリーストールおよび発酵 TMR の給与で牛群を管理していた。飼料、牛床、空気粉塵および水のサンプルはランダムに選んだ 3 ヶ所から採取し、それらを混合して代表サンプルとした。空気粉塵は、約 1.0 m の高さに 3 つのシャーレを 5 分間静置して採取した。細菌 DNA の精製、MiSeq の実施およびデータ解析、統計処理の方法は、先述の調査研究とほぼ同一である。直腸糞と牛床サンプルから細菌 DNA を精製する際は、DNeasy Stool Mini Kit (Qiagen)を使用した。以下では岡山県の農場を 1、広島県の農場を 2 と表記している。

乳汁細菌叢における上位 5 菌種は、農場 1 では *Aerococcaceae* (24.3%)、*Staphylococcaceae* (12.3%)、*Ruminococcaceae* (11.4%)、*Corynebacteriaceae* (5.9%) および *Lachnospiraceae* (5.1%) であり、農場 2 では *Staphylococcaceae* (21.0%)、*Lactobacillaceae* (10.8%)、*Ruminococcaceae* (6.3%)、*Corynebacteriaceae* (6.1%) および *Enterobacteriaceae* (5.6%) であった(図 2)。いずれの農場でも *Ruminococcaceae* が 3 番目に多い菌種であったが、これは 3 頭のうち 1 頭で *Ruminococcaceae* が最も多かったからである。

給与飼料が発酵 TMR だったこともあり、飼料の細菌叢は 95%以上が *Lactobacillaceae* で、続く *Leuconostocaceae* は 3%にも満たなかった。これを採食した乳牛が口を付ける水槽にも、*Lactobacillaceae* が高い割合で (38.8–55.7%)検出された。*Lactobacillaceae* 以外の割合は<10%

2における2頭の乳汁は、牛床と細菌叢が類似すると判断され、残る1頭の乳汁は空気粉塵および水の細菌叢と類似していた。乳汁、空気粉塵、牛床の細菌叢を特徴づけるのは *Aerococcaceae* であり、空気粉塵では農場2の *Lactobacillaceae* も特徴的な細菌群であった。

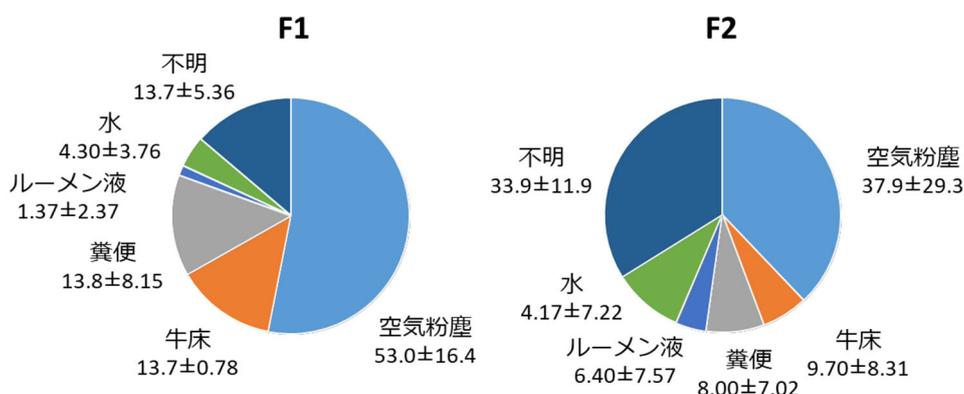


図3. 搾乳ロボットで乳牛を管理する農場2軒(F1およびF2)における、乳汁細菌叢の変動因子。いずれの農場でも空気粉塵が最も強く関係すると判断された。

これらの細菌叢データを Source Tracker で解析したところ、いずれの農場においても空気粉塵の細菌叢が乳汁の細菌叢に強く影響する(37.9–53.0%)と判断された(図3)。農場1では糞便(13.8%)、牛床(13.7%)および水(4.3%)が、農場2では牛床(9.7%)、糞便(8.0%)およびルーメン液(6.4%)が続く因子であり、飼料(発酵 TMR)との関連はないと判断された。

乳房炎の原因となる微生物は、ほとんどが細菌と考えられている。伝染性乳房炎であれば、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcaceae*)、無乳性連鎖球菌(*Streptococcaceae*)、コリネバクテリウム・ボビス(*Corynebacteriaceae*)、マイコプラズマ属(*Mycoplasmataceae*)等が、環境性乳房炎であれば、大腸菌群(*Enterobacteriaceae*)、環境性ブドウ球菌(*Staphylococcaceae*)、環境性連鎖球菌 (*Streptococcaceae*) 等が主な原因菌とされている。*Staphylococcaceae* および *Corynebacteriaceae* は多様な環境中に広く生息しているし、腸球菌(*Enterococcaceae*)や *Enterobacteriaceae* は、少数ではあるが糞便や牛床にも見出される。そのため、乳房炎の防除では環境とくに牛床(敷料)の管理が重視されるが、Source Tracker で明らかになったのは、汚染源としての空気粉塵であった。牛舎内の空気粉塵を MiSeq で調べたという報告は他に見当たらないが、腸内細菌の *Ruminococcaceae* が上位菌種として検出されることは、我々ヒトの生活環境ではまず考えられない。すなわち、空気粉塵が汚染源として示されたといっても、牛床と合わせた牛舎環境の管理が重要と考えるべきであろう。結論は従来の知見を追認するものになるが、乳汁の細菌叢が *Aerococcaceae* や *Lactobacillaceae* といった、これまで意識されなかった空気粉塵の細菌群と関連することを示した意義は大きい。

4. 乳汁、空気粉塵および牛床細菌叢の季節変動

岡山県の農場で、夏季(6–8月)に6回および冬季(11–1月)に9回のサンプリングを行った。乳汁、糞便、牛床および空気粉塵の採取方法は、既に述べたものと同じである。ここで夏季および冬季に複数回サンプリングを行ったのは、泌乳期1ヶ月および2ヶ月の乳汁を採取するとともに、牛床と空気粉塵の季節変動を調べたかったからである。前課題で2軒の農場の細菌叢を調査したが、ある日ある時の1サンプルを調べただけで、牛舎環境の細菌叢を明らかにしたとは言い難い。本調査で訪問したのは岡山県の農場1軒だけであるが、計15回のサンプリングを行うことで、牛舎環境細菌叢に関するさらに信頼性の高いデータを得ようとした。

表 1. 搾乳ロボットで管理された乳牛における乳汁細菌叢の季節変動。

	夏季		冬季		SE	二元配置 ANOVA		
	1ヶ月 (n=9)	2ヶ月 (n=9)	1ヶ月 (n=8)	2ヶ月 (n=8)		季節	月	交互作用
<i>Ruminococcaceae</i>	11.1	8.30	9.72	10.8	0.57	NS	NS	NS
<i>Staphylococcaceae</i>	9.47	11.20	7.50	7.51	0.94	NS	NS	NS
<i>Lachnospiraceae</i>	5.91	4.84	4.90	5.66	0.29	NS	NS	NS
<i>Bacillaceae</i>	5.63	2.18	0.28	0.47	0.66	**	NS	NS
<i>Aerococcaceae</i>	5.34	9.96	4.92	6.07	0.97	NS	NS	NS
<i>Moraxellaceae</i>	3.51	4.30	4.18	3.46	0.28	NS	NS	NS
<i>Bacteroidaceae</i>	3.18	2.66	3.05	3.14	0.16	NS	NS	NS
<i>Corynebacteriaceae</i>	3.17	5.39	2.84	3.22	0.33	*	*	NS
<i>Lactobacillaceae</i>	3.13	3.82	8.12	4.86	0.72	*	NS	NS
<i>Clostridiaceae</i>	2.06	1.61	1.54	1.74	0.12	NS	NS	NS
<i>S24-7</i>	1.96	0.59	2.31	1.55	0.33	NS	NS	NS
<i>Pseudomonadaceae</i>	1.87	2.65	2.81	2.30	0.22	NS	NS	NS
<i>Turicibacteraceae</i>	1.79	0.48	2.70	1.80	0.33	NS	NS	NS
<i>Erysipelotrichaceae</i>	1.66	0.98	2.07	1.39	0.24	NS	NS	NS
<i>Streptococcaceae</i>	1.58	1.59	2.86	2.51	0.20	**	NS	NS
<i>Porphyromonadaceae</i>	1.53	0.99	1.83	1.36	0.12	NS	*	NS
<i>Peptostreptococcaceae</i>	1.41	1.06	0.76	1.13	0.11	NS	NS	NS
<i>Bifidobacteriaceae</i>	1.28	2.07	1.95	2.44	0.22	NS	NS	NS
<i>Mogibacteriaceae</i>	1.08	0.86	0.98	0.87	0.06	NS	NS	NS
<i>Enterobacteriaceae</i>	0.99	1.86	1.76	2.82	0.26	NS	NS	NS
<i>Rikenellaceae</i>	0.90	0.86	1.13	0.99	0.07	NS	NS	NS
<i>Tissierellaceae</i>	0.86	1.58	1.16	1.59	0.11	NS	*	NS
<i>Micrococcaceae</i>	0.61	1.32	0.47	0.56	0.14	NS	NS	NS
<i>Microbacteriaceae</i>	0.25	0.32	0.60	1.02	0.08	**	NS	NS

数値は全体に対する割合(%). 分娩後1ヶ月および2ヶ月の泌乳期にサンプリングを行った。

乳汁の細菌叢で、季節による違いが認められたのは、*Bacillaceae*(夏>冬)、*Corynebacteriaceae*(夏>冬)、*Lactobacillaceae*(夏<冬)および *Streptococcaceae*(夏<冬)および *Microbacteriaceae*(夏<冬)であった(表 1)。糞便の細菌叢は季節を問わず安定しており、*Bacteroidaceae*(夏>冬)を除く上位5菌種に季節変動は認められなかった。

糞便の細菌叢が安定していたにも関わらず、牛床の細菌叢は夏季と冬季で多くの違いがあった(表 2)。最上位菌種の *Aerococcaceae* は、季節に関わらず 13%程度であったが、*Moraxellaceae*、*Planococcaceae*、*Tissierellaceae*、*Carnobacteriaceae*、*Micrococcaceae*、*Idiomarinaceae* および *Halomonadaceae* は夏季の方が多く、*Ruminococcaceae*、*Bacteroidaceae*、*Lachnospiraceae*、*Clostridiaceae*、*Peptostreptococcaceae*、*Rikenellaceae* および *Mogibacteriaceae* は冬季の方が多かった。冬季の方が多き細菌種は糞便の上位菌種であり、冬季は牛床に糞便細菌が生残しやすいのかもしれない。

表 2. 搾乳ロボットで乳牛を管理する農場における牛床の細菌叢。

	夏季 (n=6)	冬季 (n=9)	SE	t検定
<i>Aerococcaceae</i>	13.8	13.3	1.36	NS
<i>Ruminococcaceae</i>	10.8	17.0	1.20	**
<i>Moraxellaceae</i>	8.32	1.80	1.02	**
<i>Corynebacteriaceae</i>	7.28	6.01	0.80	NS
<i>Staphylococcaceae</i>	6.62	6.27	0.64	NS
<i>Planococcaceae</i>	5.65	0.09	0.95	**
<i>Bacteroidaceae</i>	3.75	5.95	0.52	*
<i>Lachnospiraceae</i>	3.40	6.59	0.55	**
<i>Tissierellaceae</i>	2.32	1.11	0.27	*
<i>Carnobacteriaceae</i>	2.21	0.63	0.22	**
<i>Clostridiaceae</i>	2.11	2.45	0.08	*
<i>Micrococcaceae</i>	1.78	0.27	0.24	**
<i>Idiomarinaceae</i>	1.46	0.01	0.37	*
<i>Halomonadaceae</i>	1.33	0.12	0.21	**
<i>Erysipelotrichaceae</i>	1.32	1.56	0.08	NS
<i>Porphyromonadaceae</i>	1.28	1.71	0.15	NS
<i>Peptostreptococcaceae</i>	1.18	1.75	0.12	*
<i>Rikenellaceae</i>	1.04	1.74	0.14	**
RF16	0.93	1.65	0.18	*
<i>Mogibacteriaceae</i>	0.70	1.01	0.06	**
<i>Succinivibrionaceae</i>	0.55	1.01	0.15	NS

数値は全体に対する割合(%). 計 15 サンプルの中で、1 サンプルでも 1%以上の割合で検出された細菌種を示す。

空気粉塵の細菌叢にも季節による違いが数多く認められ、*Staphylococcaceae*、*Moraxellaceae*、*Corynebacteriaceae*、*Pseudomonadaceae*、*Streptococcaceae*、*Tissierellaceae*、*Lactobacillaceae*、*Xanthomonadaceae*、*Micrococcaceae*、*Enterobacteriaceae*、*Propionibacteriaceae* および *Planococcaceae* は夏季の方が多く、*Ruminococcaceae*、*Lachnospiraceae*、*Bacteroidaceae*、*Clostridiaceae*、*Rikenellaceae*、*Paraprevotellaceae*、*Porphyromonadaceae*、*Erysipelotrichaceae*、*Spirochaetaceae* は冬季の方が多かった(表 3)。*Staphylococcaceae*、*Corynebacteriaceae*、*Streptococcaceae* といった、乳房炎の原因菌を含む細菌種が夏季に多かったことは、夏季に体細胞数が高い傾向にあることと関係しているかもしれない。冬季の方が多かった *Ruminococcaceae*、*Lachnospiraceae*、*Bacteroidaceae* および *Clostridiaceae* は牛床でも冬季の方が多く、空気粉塵の細菌叢は夏季よりも冬季に牛床細菌叢の影響を受けやすいと考えられた。

表 3. 搾乳ロボットで乳牛を管理する農場における空気粉塵の細菌叢。

	夏季 (n=6)	冬季 (n=9)	SE	t-検定
<i>Staphylococcaceae</i>	13.4	4.72	1.16	**
<i>Moraxellaceae</i>	7.19	1.78	0.75	**
<i>Corynebacteriaceae</i>	6.95	2.97	0.73	**
<i>Pseudomonadaceae</i>	6.72	1.34	0.79	**
<i>Streptococcaceae</i>	6.10	0.31	0.82	**
<i>Tissierellaceae</i>	4.98	1.09	0.51	**
<i>Aerococcaceae</i>	4.75	7.28	0.74	NS
<i>Lactobacillaceae</i>	4.10	0.97	0.79	*
<i>Ruminococcaceae</i>	3.73	17.4	1.80	**
<i>Lachnospiraceae</i>	2.22	6.79	0.62	**
<i>Xanthomonadaceae</i>	1.57	0.07	0.21	**
<i>Micrococcaceae</i>	1.52	0.35	0.21	**
<i>Enterobacteriaceae</i>	1.32	0.35	0.17	**
<i>Bacteroidaceae</i>	1.13	7.05	0.77	**
<i>Propionibacteriaceae</i>	1.13	0.02	0.16	**
<i>Planococcaceae</i>	1.12	0.05	0.21	**
<i>Clostridiaceae</i>	0.80	2.12	0.19	**
<i>Peptostreptococcaceae</i>	0.69	1.00	0.10	NS
<i>Rikenellaceae</i>	0.44	2.28	0.24	**
<i>Paraprevotellaceae</i>	0.35	1.52	0.15	**
<i>Porphyromonadaceae</i>	0.35	2.41	0.26	**
<i>Erysipelotrichaceae</i>	0.31	1.94	0.21	**
RF16	0.21	3.01	0.36	**
<i>Spirochaetaceae</i>	0.07	1.49	0.19	**

数値は全体に対する割合(%). 計 15 サンプルの中で、1 サンプルでも 1%以上の割合で検出された細菌種を示す。

糞便の細菌叢は乳汁、牛床および空気粉塵の細菌叢と明確に分かれるため、ヒートマップは乳汁、牛床および空気粉塵だけで作成した(図 4)。空気粉塵の細菌叢は夏季と冬季で別のグループとなり、夏季の空気粉塵はさらに 2 つのグループに分かれた。牛床の細菌叢も夏季と冬季に分かれたが、冬季の牛床が空気粉塵と同じクラスターに分類されたのに対し、夏季の牛床と空気粉塵は冬季のそれらほど関連が強くないと判断された。また、夏季の空気粉塵サンプルの一部は、他と大きく異なるクラスターを形成した。

乳汁の細菌叢と空気粉塵および牛床のそれらが関係することは確認できたが、空気粉塵と牛床の細菌叢が、乳汁の細菌叢とすべて同じグループに分類されたわけではない。空気粉塵と牛床は特に冬季に関係が深いということが示されたが、だからといって、冬季の乳汁細菌叢が夏季よりも空気粉塵と牛床の細菌叢に影響されたということはない。

乳汁の細菌叢を健全な状態に維持し、乳房炎の予防を図るには、牛舎環境の衛生管理が重要である。搾乳ロボット管理下の牛群にも、これまでと変わらない指針が適用されるという結論になるが、牛舎環境とくに空気粉塵と牛床の細菌叢を詳しく調べたという点で本調査は大きな意味がある。細菌汚染のリスクが同じであれば、乳房炎の発症には乳牛個々に内在する因子が、環境よりも大きく関わっていることになる。それらの解明を進めるとともに、

牛舎環境の衛生管理法改善に向けた細菌叢調査を継続したい。

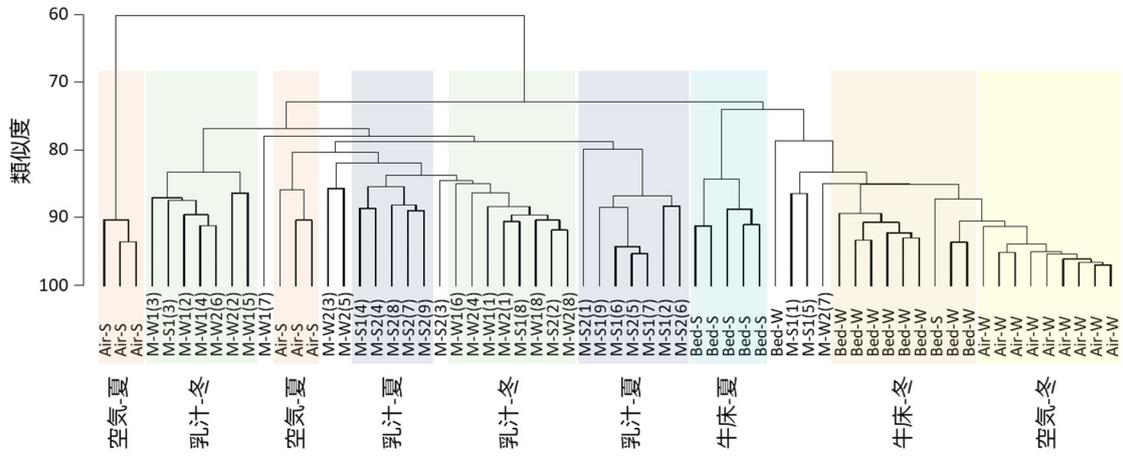


図4. 搾乳ロボットで乳牛を管理する農場における、乳汁、空気粉塵および牛床細菌叢のクラスター分類。空気粉塵と牛床の細菌叢は、冬季に特に関連が強い。