

冬季のトンネル換気型無窓鶏舎と開放鶏舎における鶏糞の水分含量の比較

誌名	畜産の研究 = Animal-husbandry
ISSN	00093874
著者名	對馬,宣道 向後,克哉 越,康雄 田中,広海 吉田,達行 中尾,暢宏 田中,実
発行元	養賢堂
巻/号	64巻7号
掲載ページ	p. 713-722
発行年月	2010年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



冬季のトンネル換気型無窓鶏舎と開放鶏舎における

鶏糞の水分含量の比較

對馬宣道¹・向後克哉²・越康雄³・田中広海⁴・
吉田達行¹・中尾暢宏¹・田中実¹

1. はじめに

一般に、冬季の寒冷環境下では産卵鶏の飲水量が、夏季の暑熱環境下に比べ顕著に減ることが知られているが⁶⁾、飲水量が著しく減少しても新鮮糞中の水分含量は極端には変化しない⁵⁾。一方で、冬季の開放鶏舎において、ケージの下に溜まっている鶏糞の水分含量は、夏季よりも相対的に低くなることはよく知られている⁴⁾。このことは、鶏の飲水量に起因するというよりは、むしろ開放鶏舎を取り巻く環境要因(空気中の相対湿度)の違いと、排糞されてからの時間の経過による影響が大きいものと考えられた。すなわち、関東地方では冬季には空気が著しく乾燥した状態になることから、ケージ直下に長い間堆積している鶏糞は夏場よりも乾きやすくなるということである。

これに対して、トンネル換気型の無窓鶏舎では計画換気により周年、鶏舎内は鶏卵生産に適した温度範囲に保たれるために¹²⁾、産卵鶏の飲水量の季節変化は、開放鶏舎の場合よりも少ないと考えられた。また、無窓鶏舎は構造上、断熱性と密閉性を有することから、外気の直接的な影響を受けにくいために、A型4段リバースケージの場合、鶏糞の水分含量は周年75~80%の比較的狭い範囲を推移していた⁸⁾。同様に、無窓鶏舎で直立型4段高床用ケージを採用したときでも、鶏糞の水分含量は年間を通じて65~75%の範囲を推移していた。いずれのケージシステムの場合でも、水分値は周年10%の範囲内を増減していることから、無窓鶏舎の場合には、鶏糞の水分含量は大きな季節変化を

示さないものと思われた。ところが、高原ら⁸⁾は、同じ無窓鶏舎でも鶏糞乾燥装置を有する直立型4段のケージシステムの場合には、鶏糞の水分含量は相対的に低いレベルではあるが(40~60%)、周年変化を示すことを指摘していた。具体的には、鶏糞乾燥装置を備えた直立型4段のケージシステムの無窓鶏舎では、7月と8月の鶏糞の水分含量が、その他の季節に比べて10~20%高かった。鶏糞乾燥装置は、エアパイプを用いて送風することにより除糞ベルト上で鶏糞を予備乾燥するために、その水分含量は外気の影響を受けやすいという可能性が考察されている⁸⁾。そこで、本研究では夏季における試験結果¹⁵⁾と比較する目的で、冬季においても開放鶏舎ならびに鶏糞乾燥装置を備えたトンネル換気型無窓鶏舎において鶏糞の水分含量を測定するとともに、環境要因として鶏舎内外における温湿度や風速も併せて測った。

2. 材料および方法

供試鶏舎について

鶏糞の水分含量の測定を行った鶏舎は、千葉県山武市松尾町にある(有)サントクファーム松尾農場の開放鶏舎1号ならびに無窓鶏舎6号であった。供試した開放鶏舎1号の側壁には、上側と下側にカーテンが備えられており、屋根のモニター部の両側にもカーテンが取り付けられていた¹⁴⁾。冬季の開放鶏舎におけるカーテン開閉の管理作業は、その日の天候や気温、風雨や降雪の有無によって臨機応変に行われていた。すなわち、天気が悪いときや、晴れていても日中に気温が低いときは、すべてのカーテンや前後の扉を閉め切りにして、鶏舎内の保温に努めていた。反対に、晴れて気温が上がるときには、南向きのカーテンを一部開放して、適宜、自然換気を行っていた。また、天候の如何

¹日本獣医生命科学大学 (Nobumichi Tsushima, Tatsuyuki Yoshida, Nobuhiro Nakao, Minoru Tanaka)

²(有)サントクファーム松尾農場 (Katsuya Kougo)

³(株)島津製作所 (Yasuo Koshi)

⁴アッペ科学(株) (Hiromi Tanaka)

に関わらず、冬季の夜間はすべてのカーテンや前後の扉を閉め切りにした。開放鶏舎1号の環境測定を行った2010年1月28日の昼間は、終日曇っていたが比較的気温が高く、強い風が吹いていなかったため、09:30~16:30は南向きの側壁上側のカーテンのみ50cm程度開放していた。管理作業を行っていた同時時間帯は、開放鶏舎の前後の扉を開けて自然換気を行っていた。

鶏糞乾燥装置が備えられているトンネル換気型の無窓鶏舎6号の鶏舎構造は、すでに報告した断面図を参照して頂きたいが¹⁴⁾、中央の隔壁から左側部分が無窓鶏舎の6号に相当していた。通常、冬季の夜間におけるトンネル換気型無窓鶏舎の換気は、排気口側にある10台の大型ファンのうち1~2台が稼働しているが、環境測定を行った2010年2月5日の昼間は鶏舎内の温度変化に応じて、2台あるいは4台のように、稼働台数に若干の変化が見られた。これらの大型ファンの稼働台数は、鶏舎2階の中央通路ケージNo.38付近の上方に取り付けられている感温センサーからの温度情報をもとに制御されていた。

供試鶏舎の産卵鶏

開放鶏舎1号に收容されていた産卵鶏の鶏種はジュリアであり、2010年1月28日の時点での收容羽数は7,859羽であった。この産卵鶏は2008年5月13日に餌づけされ、9月12日の導入時の鶏齢は123日齢であった。導入羽数は8,960羽であった。したがって、2010年1月28日には鶏齢は626日齢に達しており、この時点での鶏群の平均産卵率は76.2%であった。

無窓鶏舎6号に收容されていた産卵鶏の鶏種はボリス・ブラウンであり、2010年2月5日の時点での收容羽数は24,855羽であった。この産卵鶏は2009年1月9日に餌づけされ、5月13日の導入時の鶏齢は125日齢であった。導入羽数は25,250羽であった。したがって、2010年2月5日には鶏齢は393日齢に達しており、この時点での鶏群の平均産卵率は78.8%であった。

奥側入口					
ケージ	奥側から 柱3本目 計測地点③ 冬季70.77% 夏季77.05%	ケージ	奥側から 柱3本目 計測地点⑥ 冬季74.53% 夏季82.31%	ケージ	
ケージ	カーテン 切れ目 計測地点② 冬季70.63% 夏季75.07%	ケージ	カーテン 切れ目 計測地点⑤ 冬季76.13% 夏季80.54%	ケージ	
ケージ	入口側から 柱3本目 計測地点① 冬季58.35% 夏季73.19%	ケージ	入口側から 柱3本目 計測地点④ 冬季73.75% 夏季76.60%	ケージ	
鶏卵搬送用のバーコンベアあり					
事務所側入口					

図1 開放鶏舎1号の各計測地点における鶏糞の水分含量。
計測地点は①~⑥で表している。

試験計画

試験1. 開放鶏舎1号における鶏糞の水分測定および環境計測

開放鶏舎1号における鶏糞の水分含量の測定は、2010年1月27日に実施した。当日は終日晴れていたが、午後からはやや風が強くなった(風速1.0m/s未満)。供試鶏舎における鶏糞サンプルの採取は13:25~16:00の間に行い、水分含量の測定は試料採取と併行して行った。鶏糞の採取場所は、夏季の水分測定の場合と同様であり¹⁵⁾、開放鶏舎1号内の6カ所であった(図1)。前回の除糞から約ひと月半が経過していたため、開放鶏舎1号のケージ直下の床面には、鶏糞が10~30cmの厚さに堆積していた。水分含量の測定に用いた鶏糞サンプルは、新鮮なものではなく、床面に蓄積していたものであった。

開放鶏舎 1 号の床面における CO₂ および NH₃ 濃度は、2010 年 1 月 28 日の 07:40~08:40 の間に測定した。当日は曇っていたが、外気はさほど寒く感じなかった。これら微量ガス濃度の測定を行った時間帯は、供試鶏舎のすべてのカーテンは閉じられていた。測定場所は、水分測定のための鶏糞採取を行ったところに近い開放鶏舎 1 号の通路であった（合計 6 地点）。相対湿度の測定は、09:00~09:45 の間に行った。ケージ前面のところに機器を 3 台ずつ吊るし、示度が安定するのを待って、相対湿度の値を読み取った。相対湿度を測っていた途中の 09:30 頃に、自然換気を行うため供試鶏舎の前後の扉と、南向きの側壁上側のカーテンが 50cm 程度開放された。相対湿度の測定を行った時間帯は、無風に近かったため、カーテンが一部開いても外気による急激な変化は見られなかった。開放鶏舎 1 号の温度、風速および風向は、09:50~10:40 の間に測定した。温度や風速等を測定した頃には、鶏舎外には風速

1~3m/s の南風が吹き始めた。この頃になると、供試鶏舎内のクモの巣の動きなどで、外気が舎内に吹き込んでいるのが分かった。しかしながら、測定当日の午前中は、冬季としては比較的気温が高く、09:30~09:40 の外気は 14.52±0.08℃であった。

試験 2. 無窓鶏舎 6 号における鶏糞の水分測定および環境計測

無窓鶏舎 6 号における鶏糞の水分含量の測定は、2010 年 2 月 4 日に実施した。当日は晴れていたが、前日の夕方より降雪が見られたので、環境計測は行わずに水分含量の測定のみを実施した。無窓鶏舎 1 階および 2 階における鶏糞サンプルの採取は 08:10~08:40 に行った。鶏糞の採取場所は、夏季の水分測定の場合と同様であり¹⁵⁾、無窓鶏舎 6 号内の 12 ヶ所であった（図 2）。2010 年 2 月 3 日にベルトを動かして除糞作業を行ったため、4 日に採取した鶏糞サンプルは、除糞翌日のものであった。供試鶏舎の各階で 6 サンプルずつ鶏糞採取を行ったので、全 12 サンプルの水分含量の測定には、09:10~16:00 の時間を要した。

ダストルーム(奥側)				
ファン10台(排気口側)				
カーテン側	1階あるいは2階		隔壁側	
計測地点③	ケージNo.75	計測地点⑥	ケージNo.75	計測地点⑨
冬季				冬季
1階: 68.95%				1階: 64.99%
2階: 72.64%				2階: 61.58%
夏季				夏季
1階: 73.02%		中央通路		1階: 73.02%
2階: 68.27%				2階: 67.69%
計測地点②				計測地点⑧
冬季				冬季
1階: 63.81%		計測地点⑤		1階: 72.35%
2階: 72.38%	ケージNo.38	温度センサー	ケージNo.38	2階: 74.43%
夏季		取付位置		夏季
1階: 78.58%				1階: 67.56%
2階: 76.52%				2階: 79.07%
計測地点①		中央通路		計測地点⑦
冬季				冬季
1階: 65.68%				1階: 66.44%
2階: 77.83%				2階: 73.11%
夏季				夏季
1階: 64.21%	ケージNo.5	計測地点④	ケージNo.5	1階: 69.00%
2階: 82.07%				2階: 81.07%
				入り口扉
クーリング・パッド・システム(入気口側)				

図 2 無窓鶏舎 6 号の各計測地点における鶏糞の水分含量
計測地点は①~③および⑦~⑨で表している。鶏舎 2 階の平面図は 1 階と全く同じである。

無窓鶏舎 6 号の環境計測を行った 2010 年 2 月 5 日の天気は晴れであった。この日は除糞から 2 日目であったので、当日に除糞作業はなかったが鶏舎内での管理作業が始まる前に、最初に CO₂ および NH₃ 濃度の測定を行った。微量ガス濃度の測定場所は、無窓鶏舎 6 号の中央通路のケージ No.5, No.38 および No.75 付近であった（図 2 を参照）。供試鶏舎の 1 階と 2 階の床面における微量ガス濃度の測定は、08:10~09:50 の間に 2 回行った。1 回の測定について、CO₂ と NH₃ 濃度を 3 度ずつ測定した。無窓鶏舎 6 号の相対湿度は、1 階と 2 階の中央通路におけるケージ No.5, No.38 および No.75 付近に機器を 3 台ずつ吊るし（08:10~08:25）、相対湿度の示度が十分に安定するのを待って 10:30~11:10 に測定した。直立ケージシステムであったため、供試鶏舎 1 階における相対湿度の測定場所は、下から 3 段目のケージ前面であり、2 階も同様に 3 段目（1 階から数えると 7 段目）であった。このとき、排気口側の大型ファンは 4 台稼動していた。午後にも大型ファンが 4~6 台稼動していたので、13:00~13:50 の間にもう

1度、供試鶏舎内の相対湿度を測った。無窓鶏舎6号の1階と2階における温度および風速と風向は、11:35~12:00に測定した。測定場所は、供試鶏舎の中央通路におけるケージNo.5, No.38およびNo.75付近であった。供試鶏舎内の温度および風速は、11:35~11:50の間に1回測った。1回の計測について、温度と風速を6度ずつ繰り返し測定した。また、風向は11:50~12:00に一回測定した。温度および風速と風向を測定した時間帯は、排気口側の大型ファンが4台稼動していた。午後には大型ファンが4~6台稼動していたので、無窓鶏舎6号の温度と風速は、13:55~14:30の間にもう1度測った。

鶏糞の水分含量の測定

鶏糞の水分含量は、(株)島津製作所製の電子式水分計(Moisture Balance) MOC-120Hを用いて測定した¹⁵⁾。開放鶏舎1号における水分含量の測定にあたって、供試した鶏糞サンプル量は平均3.436±0.133gであった($n=6$)。このとき、水分測定に要した平均時間は14.7±2.3分であった($n=6$)。無窓鶏舎6号の1階における水分含量の測定にあたり、供試した鶏糞サンプル量は平均3.323±0.275gであり、2階は平均3.229±0.390gであった(いずれの場合も $n=6$)。また、水分測定に要した平均時間は、1階の場合17.7±3.1分であり、2階は17.0±3.0分であった(ともに $n=6$)。

鶏舎内の微量ガス、風向と風速および温湿度の測定

供試鶏舎内のCO₂およびNH₃濃度の測定には、(株)ガステック製の検知管法による気体測定器(気体採取器セットGV-100S)を用いた¹¹⁾。適用したCO₂ガスの検知管は(株)ガステック製のNo.2LLであり、測定可能な濃度範囲は300~5,000ppmであった。NH₃ガスの検知管は同じ(株)ガステック製のNo.3Lであり、測定可能な濃度範囲は1~30ppmであった。

供試鶏舎内における温度と風速の測定は、いすゞ製作所(株)製の微風速計(Wind Boy ISA-80)で行い、風向は光明理化学工業(株)製の北川式気流検査器と発煙管(300型)で測定した¹¹⁾。鶏舎内外の相対湿度は、(株)カスタム製のデジタル温湿度計CTH-201を用いて測った¹³⁾。

統計解析

鶏糞の水分含量、鶏舎内の温湿度と風速、ならびにCO₂とNH₃濃度に関する統計処理は、SASの

GLMプロシジャを用いた分散分析を行った⁷⁾。また、鶏舎内のCO₂濃度は大気中の濃度よりも一桁大きくなるため、統計解析の前に測定値自体を対数変換した¹⁴⁾。同様に、NH₃濃度の場合は、鶏舎内での濃度であっても0ppmという値が比較的頻繁に測定されたため、統計解析の前に測定値を平方根変換した¹⁴⁾。

3. 結果

2010年1月および2月の鶏舎付近における外気の最高温度ならびに最低温度の推移

図3は、2010年1月および2月における供試鶏舎付近の外気の最高ならびに最低温度の推移を示したものである。2010年1月における最高気温は、10℃を下回る日が31日中15日あった。鶏糞の水分含量の測定および環境計測を行った1月下旬だけを見ても、最高気温が10℃を下回ったのは11日中わずかに2日であり、この間の最高気温の平均値は12.6℃であった。一方、2010年1月における最低気温は、0℃を上回る日が31日中10日あった。最高気温の場合と同様に1月下旬だけを見ると、最低気温が0℃を上回ったのは11日中6日もあり、最低気温の平均値もわずかではあるが0℃を上回っていた(図3)。

2010年2月における最高気温は、10℃を下回る日が28日中13日あった。鶏糞の水分含量の測定および環境計測を行った2月4日と5日は、最高気温が10℃を下回っていた。これに対して、2010年2月における最低気温は、0℃を上回る日が28日中18日あった。測定を行った2月4日と5日は、最低気温が0℃を下回っていた。2月の下旬になると、最高気温は常に10℃を上回るようになり、最低気温も0℃を上回っていた(図3)。

試験1. 開放鶏舎1号における鶏糞の水分含量の測定および環境計測

(1) 鶏糞の水分含量

開放鶏舎1号における試験において、水分含量の測定に用いた鶏糞は、新鮮なものではなく床面に堆積していたものであった。したがって、冬季の開放鶏舎1号における鶏糞の水分含量は、平均70.69%と相対的に低いものであった(表1)。供試鶏舎では6ヵ所の計測地点で鶏糞サンプルを採取し(図1)、おのおのの水分含量を測定したが、その値は計測地点①を除くと70~77%の範囲にあった。図1

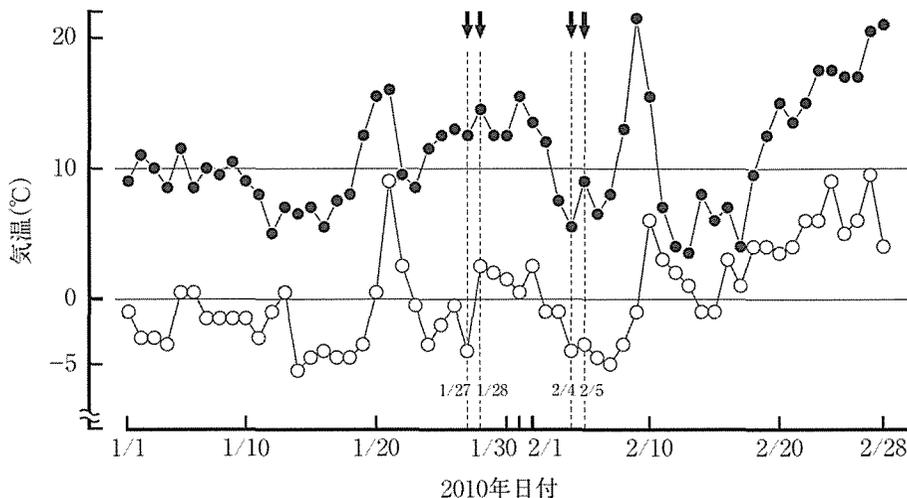


図3 2010年1月および2月における供試鶏舎付近の最高気温ならびに最低気温の推移

●は最高気温を、○は最低気温を表している。↓は鶏舎内の環境測定や鶏糞の水分含量の測定を行った日を示している。

表1 冬季の開放鶏舎1号の床面、無窓鶏舎6号1階と2階の床面における鶏糞の水分含量の比較

鶏舎	階数	水分含量 (%) ¹⁾
開放鶏舎		70.69±6.42 a
無窓鶏舎	1階	67.04±3.12 a
	2階	72.00±5.48 a

¹⁾ 平均値±標準偏差 (n=6)。

開放鶏舎に比べ異符号間に有意差あり (p<0.05)

表2 冬季の開放鶏舎1号におけるCO₂およびNH₃濃度¹⁾

鶏舎	計測地点 ²⁾	CO ₂ 濃度 (ppm) ³⁾	NH ₃ 濃度 (ppm) ³⁾
入口側	①+④	583±98 a ⁴⁾	5.8±0.8 a
中ほど	②+⑤	1017±68 b	18.8±1.4 b
奥側	③+⑥	1017±52 b	14.8±5.9 b
外気	—	400±77	検出されず

1) 除糞から約1ヵ月半が経過し、かなり鶏糞が溜まった状態

2) 計測地点 (①~⑥) については図1を参照

3) 数値は平均値±標準偏差で表している (n=6)

4) 入口側に比べ異符号間に有意差あり (p<0.05)

に示したように、開放鶏舎1号の鶏糞の水分含量は、南側の通路における計測地点①、②および③の値に比べて、北側の同じ位置の計測地点④、⑤および⑥の値は3.7~15.4%高かった。

(2) CO₂ および NH₃ 濃度

開放鶏舎1号の床面において微量ガス濃度の測定を行った時間帯 (07:40~08:40) は、鶏舎側壁ならびにモニター部のカーテンはすべて閉じられていた。表2に示したように、開放鶏舎1号の入口側のCO₂濃度は、外気の濃度 (平均400ppm) よりもわずかに高いだけであった (約145%)。しかし、開放鶏舎1号の中ほどと奥側におけるCO₂濃度は、外気よりも有意に高く (いずれも約2.5倍でp<0.05)、入口側の値に比べても有意に高かった (いずれも約170%でp<0.05)。

NH₃濃度は外気では全く検出されなかったが、開放鶏舎1号内では5.8~18.8ppmのNH₃ガスが測定された (表2)。開放鶏舎1号の入口側の値に

比べると、鶏舎中ほどと奥側のNH₃濃度は有意に高かった (それぞれ3.2倍と2.5倍、いずれもp<0.05)。開放鶏舎1号の2通路に関して、相対的にNH₃濃度の低かった計測地点は①、③および④であり、NH₃濃度の高かった計測地点は②、⑤および⑥であった (図1を参照)。

両微量ガス濃度の測定後に、換気のため09:00から南に面した鶏舎側壁の上側のカーテンが約50cmだけ開けられた。カーテンを一部開けてからおよそ4時間後の13:20~14:20に再度、両微量ガス濃度を測定した。その結果、早朝にCO₂濃度の高かった開放鶏舎1号の中ほどと奥側では、換気後にその値が著しく低下し、25±52ppmと558±20ppmになった (入口側は517±26ppm)。一方、換気後 (午後)の開放鶏舎1号におけるNH₃濃度は、入口側から4.0

表3 冬季の開放鶏舎1号における風向および風速¹⁾

鶏舎	計測地点 ²⁾	風速(m/s) ³⁾	風向
入口側	①	0.39±0.19 a ⁴⁾	奥側に向かう傾向が強い
	④	0.29±0.14 a	奥側に向かう傾向が強い
中ほど	②	0.45±0.13 a	方向不定ながら風は感じる
	⑤	0.63±0.14 a	方向不定ながら風は感じる
奥側	③	0.27±0.07 a	無風に近い印象あり
	⑥	0.45±0.16 a	方向不定ながら風は感じる
外気	—	2.12±0.65	北もしくは北東

- 1) 除糞から約1ヵ月半が経過し、かなり鶏糞が溜まった状態
- 2) 計測地点(①～⑥)については図1を参照
- 3) 数値は平均値±標準偏差で表している($n=6$)
- 4) 入口側①に比べ異符号間に有意差あり($p<0.05$)

±0.6ppm, 14.3±0.9ppm (中ほど) および 8.3±1.8ppm であった (奥側)。カーテンを一部開放した換気によって、開放鶏舎1号のNH₃とCO₂濃度は換気前よりも著しく低下した (換気後 vs 換気前, いずれも $p<0.05$)。

(3) 風速と風向ならびに温湿度

開放鶏舎1号において風速を測定した2010年1月28日の09:50～10:40は、鶏舎外は平均2.12m/sの強い南風が吹いていた(表3)。しかしながら、供試鶏舎の南側に隣接して無窓鶏舎が建っていたこと、および換気のため南に面した側壁上側のカーテンが約50cmだけ開けられていたことから、供試鶏舎内の平均風速は、わずかに風を感じる程度の範囲内にあった(0.29～0.63m/s)。開放鶏舎1号における風向は、必ずしも一定方向ではなかったが、鶏舎内において肌で空気の動きを感知することはできた(表3)。

表4に示したように、開放鶏舎1号における温度は、計測地点の違いに関わらず15.32～16.62℃の範囲にあり、外気温(平均14.52℃)と比べてやや高かった。開放鶏舎1号における相対湿度は、計測地点の違いによる差異が認められ、鶏舎中ほど(②と⑤)と計測地点⑥は相対的に低かった(69～71%)。これに対して、鶏舎入口側(①と④)と計測地点③における相対湿度は、比較的高かった(73～79%, 表4)。

表4 冬季の開放鶏舎1号における温度および相対湿度¹⁾

鶏舎	計測地点 ²⁾	温度(℃) ³⁾	相対湿度(%) ³⁾
入口側	①	15.93±0.25 a ⁴⁾	73.0±1.5 a
	④	15.32±0.73 a	74.3±0.8 a
中ほど	②	16.62±0.40 b	70.7±2.0 a
	⑤	15.83±0.30 a	70.5±1.4 a
奥側	③	16.40±0.39 a	78.5±0.8 b
	⑥	16.52±0.42 a	69.3±1.4 b
外気	—	14.52±0.08	71.0±0.6

- 1) 除糞から約1ヵ月半が経過し、かなり鶏糞が溜まった状態
- 2) 計測地点(①～⑥)については図1を参照
- 3) 数値は平均値±標準偏差で表している($n=6$)
- 4) 入口側①に比べ異符号間に有意差あり($p<0.05$)

試験2. 無窓鶏舎6号における鶏糞の水分含量の測定および環境計測

(1) 鶏糞の水分含量

無窓鶏舎6号は2010年2月3日に除糞作業を行ったため、水分含量の測定に用いられた鶏糞サンプル(4日に採取)は、排泄されてから24時間以内のものであった。無窓鶏舎6号の1階で採取した鶏糞の水分含量は、平均67.04%と相対的に低いものであったが、2階は平均72.00%であり、1階に比べてやや高かった(有意差なし, 表1)。供試鶏舎では1階と2階において6ヵ所ずつ鶏糞サンプルを採取し(図2)、おのおのの水分含量を測定したが、得られた値は鶏舎内の採取場所により若干の差異が認められた。すなわち、無窓鶏舎6号の1階では、計測地点⑧(72.35%)を除いて鶏糞の水分含量は、比較的低い値を示した(63～69%)。これに対して、無窓鶏舎6号の2階では、計測地点⑨(61.58%)を除いて鶏糞の水分含量は、1階よりも相対的に高かった(72～78%, 図2を参照)。

(2) CO₂およびNH₃濃度

無窓鶏舎6号は2010年2月3日に除糞作業を行ったため、CO₂およびNH₃濃度の測定を行った2月5日は除糞から2日が経過していた。無窓鶏舎6号における微量ガスの測定場所は、鶏舎1階および2階の中央通路のみであった(計測地点④～⑥, 図2を参照)。無窓鶏舎6号の1階と2階の中央通路におけるCO₂濃度は、測定時に排気口側の大型ファンが2台しか稼動していなかったため、鶏舎内の計測地点によらず外気のCO₂濃度(平均358ppm)よりも有意に

高かった(2.4~10.5倍, いずれも $p < 0.05$, 表5)。無窓鶏舎1階の中央通路において, ケージ No.5 から鶏舎奥の No.38やNo.75になると CO_2 濃度は増加し, 特にケージ No.38 付近の値は No.5 の値に比べ約2.3倍に増加した ($p < 0.05$)。無窓鶏舎2階の中央通路では, ケージ No.5 から鶏舎奥のケージ No.75 に向かうにつれて CO_2 濃度が顕著に増加する傾向が観察された(約2倍, $p < 0.05$, 表5)。

無窓鶏舎6号は除糞作業から2日が経過していたが, NH_3 ガスは1階の中央通路ではほとんど検出されなかった(0.0~0.4ppm, 表5)。無窓鶏舎6号の2階における中央通路ケージ No.5 付近では, ごくわずかながら NH_3 ガスが検知された(平均0.50ppm)。無窓鶏舎6号の2階では, ケージ No.5 から No.75 と鶏舎の奥側に進むにしたがって NH_3 濃度は有意に増加していった。無窓鶏舎6号の2階のケージ No.75 付近における NH_3 濃度は平均2.25ppmであり, この濃度はケージ No.5 付近の値に比べ約4.5倍に増えていた ($p < 0.05$)。

(3) 風向と風速ならびに温湿度

無窓鶏舎6号において風速を測定した2010年2月5日の11:25~11:45は, 鶏舎外では常に肌を感じる程度の風が吹いていた(平均0.61m/s)。無窓鶏舎6号の中央通路における風向は, 1階も2階もすべてファン側(排気口のある鶏舎奥側)に向かっていた(表6を参照)。無窓鶏舎6号1階の中央通路における風速は, ケージ No.5 付近において微風であった(平均0.40m/s)。同じ1階の中央通路のケージ No.38やNo.75付近でも, 平均0.30m/sと0.33m/sの微風速が得られており, 体感的にはケージ No.5 付近の値と大差なかった。無窓鶏舎6号2階の中央通路における平均風速は, 1階の中央通路の値に比べ全般的にやや低下していた(0.25~0.28m/s, 表6)。

無窓鶏舎6号において温湿度を測定した2010年2月5日の10:30~11:10は, 外気温が平均7.75°Cであった(表7)。無窓鶏舎6号1階の中央通路における温度は, ケージ No.5 付近において平均15.08°Cであった。同じ1階の中央通路のケージ No.38 付近において, 温度は平均21.42°Cまで上昇し, No.75 付近ではさらに平均23.83°Cまで上がった(表7)。無窓鶏舎6号2階の中央通路における温度は, 1階の中央通路に比べ全般的にやや高かったものの, 鶏舎奥側に行くにつれて上がっていく点で

表5 冬季の無窓鶏舎6号の中央通路における CO_2 および NH_3 濃度¹⁾

階数	ケージ ²⁾	CO_2 濃度 (ppm) ³⁾	NH_3 濃度 (ppm) ³⁾
1階	No.5	862±82 a ⁴⁾	検出されず
	No.38	2017±26 b	0.00±0.00
	No.75	1283±75 b	0.42±0.49
2階	No.5	1917±98 a	0.50±0.55 a
	No.38	2675±141 b	1.67±0.75 b
	No.75	3758±229 b	2.25±0.27 b
外気	—	358±20	検出されず

- 1) 除糞から2日が経過した状態
- 2) 計測地点(中央通路④~⑥, ケージNo.5~No.75)については図2を参照
- 3) 数値は平均値±標準偏差で表している($n=6$) NH_3 濃度が0.00ppmというのは検出限界以下ではあるが, NH_3 が存在することを意味している
- 4) ケージNo.5に比べ異符号間に有意差あり($p < 0.05$)

表6 冬季の無窓鶏舎6号における風向および風速¹⁾

階数	ケージ ²⁾	風速(m/s) ³⁾	風向
1階	No.5	0.40±0.04 a ⁴⁾	不定
	No.38	0.30±0.04 b	ファン側
	No.75	0.33±0.04 a	ファン側
2階	No.5	0.27±0.14 a	ファン側
	No.38	0.25±0.03 a	ファン側
	No.75	0.28±0.10 a	ファン側
外気	—	0.61±0.28	北または北東

- 1) 除糞から2日が経過した状態
- 2) 計測地点(中央通路④~⑥, ケージNo.5~No.75)については図2を参照
- 3) 数値は平均値±標準偏差で表している($n=6$)
- 4) ケージNo.5に比べ異符号間に有意差あり($p < 0.05$)

表7 冬季の無窓鶏舎6号の中央通路における温度および相対湿度¹⁾

階数	ケージ ²⁾	温度(°C) ³⁾	相対湿度(%) ³⁾
1階	No.5	15.08±0.86 a ⁴⁾	47.7±2.3 a
	No.38	21.42±0.80 b	54.3±3.4 b
	No.75	23.83±1.03 b	55.5±4.0 b
2階	No.5	18.33±0.26 a	52.8±1.7 a
	No.38	24.25±0.42 b	54.8±2.7 a
	No.75	27.33±0.68 b	43.8±2.1 b
外気	—	7.75±0.27	35.8±2.4

- 1) 除糞から2日が経過した状態
- 2) 計測地点(中央通路④~⑥, ケージNo.5~No.75)については図2を参照
- 3) 数値は平均値±標準偏差で表している($n=6$)
- 4) ケージNo.5に比べ異符号間に有意差あり($p < 0.05$)

は類似していた。表7に示したように、2010年2月5日の外気の相対湿度は、平均35.8%であった。無窓鶏舎6号の相対湿度は、1階と2階ともに平均50%台のところが多く、計測地点による大きな差異は見られなかった。例外的に、無窓鶏舎6号2階のケージNo.75付近における相対湿度は、平均43.8%を示しており、ケージNo.5付近の値に比べて有意に低かった ($p < 0.05$, 表7)。

4. 考 察

本研究は、実際に鶏卵生産をしている開放鶏舎とトンネル換気型無窓鶏舎を供試鶏舎として、冬季の寒冷環境下において採取された鶏糞の水分含量を測定し、両鶏舎間でその数値の比較を行うことを目的とした。また、両鶏舎における夏季の鶏糞水分値に関する試験結果¹⁵⁾と比べることも、併せて目的とした。松尾農場で得られた気温のデータをもとに(図3)、2010年1月と2月の気象的な特徴を考察すると、1月上旬から中旬にかけては比較的寒い日が続いていた。その後、1月下旬から2月中旬までの約1ヵ月間は、気温の上昇と下降の激しい日々が続いた。しかし、2月の下旬ともなると、最高気温は連続して10°Cを超えて、最低気温の方も常に0°Cを上回るようになり、遠からず春の到来を予感させるようになった。この冬、関東地方では明らかな暖冬傾向が見られたにも関わらず、寒暖の差が大きかったこと、ならびに特に2月は降雪が多かったことから(観測地点、千葉)²⁾、体感的には寒い冬であったという印象が強かった。

開放鶏舎1号において鶏糞サンプルを採取し、水分含量を測定した2010年1月27日は晴れていたが、環境測定を行った翌28日はくもりで、空気は湿気を帯びており雨が降りそうな気配であった。したがって、外気の相対湿度は平均71.0%であり(表4)、冬季としては比較的高かった。冬季の開放鶏舎1号における鶏糞の状態は、夏季に見られたようなヘドロ状になって通路へ流れだすようなことはなく、その形態は糞としてのかたちを保っていた。また、開放鶏舎1号のケージ下には、鶏糞の自然乾燥を目的とした糞棚と呼ばれる板を渡してあるが、この棚の上に蓄積した鶏糞の表面は十分に乾いていた。表1に示したように、冬季の開放鶏舎1号における鶏糞の水分含量は、平均70.7%であった。この開放

鶏舎における鶏糞の水分含量の平均値は、夏季の場合と比べおよそ6.8%低かった ($p < 0.05$)¹⁵⁾。岡田ら⁴⁾は、開放鶏舎において鶏糞の水分含量の季節変動を調べているが、夏季と冬季とでは約8.7%の差異があることを報告している。本試験における結果と岡田ら⁴⁾の報告では、水分含量にして2%程度の違いはあったが、冬季の開放鶏舎において鶏糞の水分含量が夏場よりも著しく低下するという点ではよく一致していた。

開放鶏舎1号の計測地点ごとに、冬季と夏季における鶏糞の水分含量を比較してみると、計測地点①を除いていずれの地点でも、冬季は夏季よりも2.8~7.8%低かった(図1)。産卵鶏の飲水量に季節変動があることは知られているが⁶⁾、鶏糞の水分含量に認められた季節間差は、飲水量にはあまり起因しないものと考えられた。すなわち、産卵鶏の飲水量が季節によって顕著に減少しても、新鮮糞中の水分含量は著しく変化しないことが報告されているからである⁵⁾。むしろ、開放鶏舎における鶏糞の場合には、鶏舎を取り巻く空気の相対湿度の影響の方が大きいかもしれない。開放鶏舎1号において鶏糞の水分含量を測定した2010年1月(測定日は27日)は、最低湿度(最小の相対湿度)が40%を下回った日は31日中25日を数えた(観測地点、千葉)²⁾。冬季において、火災警報が出される条件のひとつに最低湿度が40%以下という項目があるように¹⁰⁾、鶏糞を含めてすべてのものが乾きやすくなることは容易に想像できた。

無窓鶏舎6号において鶏糞の水分含量を測定した2010年2月4日は晴れており、東京ではこの冬二度目の冬日(最低気温が0°C以下)であった。図2に示したように、無窓鶏舎6号の1階および2階のおのおの6ヵ所において、08:10~08:40の時間帯に鶏糞サンプルを採取し、その後、直ちに水分含量を測定した。その結果、無窓鶏舎6号の1階における鶏糞の水分含量の平均値は67.0%であり、2階の平均値は72.0%であった(表1)。我々は、同じ無窓鶏舎において夏季の鶏糞の水分値を調べているが¹⁵⁾、冬季の鶏糞の水分含量は、夏季の場合に比べそれぞれ3.86%(1階)と3.78%低い傾向を示した(2階)。無窓鶏舎6号の1階および2階の計測地点ごとに見ても、冬季の鶏糞の水分含量は、夏季に比較して低下する地点が多かった(図2を参照)。しかし、

開放鶏舎における鶏糞の水分含量に見られた季節間差（正味の差異は6.8%，冬季 vs 夏季）に比べれば¹⁵⁾，無窓鶏舎における差異は小さいものと考えられた。冬季における開放鶏舎の場合，鶏糞の水分含量が夏季よりも顕著に低かった主な原因を空気中の相対湿度にあるとしたが，トンネル換気型無窓鶏舎では排糞されてから試料採取までの経過時間も考慮に加える必要があるように思われた。すなわち，鶏糞サンプルの採取までの時間に言及すれば，無窓鶏舎6号の場合は2010年2月3日に除糞作業を行っていたので，排泄から24時間以内の鶏糞サンプルを採取していた。無窓鶏舎6号は除糞ベルトに沿って鶏糞乾燥装置としてエアパイプが取り付けられており，エアパイプから吹きだす風によりベルト上の鶏糞を乾燥している¹⁵⁾。冬季における無窓鶏舎6号の送風時間は03:00~20:00の17時間であり，深夜の7時間は送風を停止していた。したがって，水分含量の測定に用いた鶏糞サンプルは新鮮糞ではあったが，03:00から5時間程度は強制的に風乾したものであった。また，表7に示したように，無窓鶏舎6号においては1，2階ともに相対湿度が低かったことから，より短時間で鶏糞の乾燥を促した可能性が考えられた。したがって，本試験の無窓鶏舎6号において，鶏糞の水分含量に見られた季節間差（正味の差異は3.8%，冬季 vs 夏季）には，舎内空気の相対湿度の違いと鶏糞サンプル採取までの時間の長さが，少なからず反映しているものと考えられた。

高原ら⁸⁾は，採卵養鶏における環境対策の一環として，ケージシステムの違いが鶏糞の水分含量に及ぼす影響について検討している。この報告のなかで，鶏糞乾燥装置付きの直立型4段ケージシステムにおける鶏糞の水分含量は，40~60%と相対的にかなり低いレベルを推移していた。本試験において，無窓鶏舎6号における鶏糞の水分含量は，1階が平均67.04%であり，2階は平均72.00%であった（表1）。高原ら⁸⁾の2月の値（平均48%）に比べたとき，本試験の無窓鶏舎6号における鶏糞の水分含量は19~24%も高かった。この相違の理由のひとつとして，本試験では前の除糞作業から24時間以内に鶏糞を採取したため，水分含量の比較的高い新鮮糞を測定に供した可能性が考えられた。高原ら⁸⁾の報告では，糞が排泄されてからどのくらい時間が経過し

て採取したのかはよく分からないが，除糞ベルト上において送風により鶏糞が十分な水分の低減作用を受けていたのかもしれない。前述のように，鶏糞乾燥装置付きのトンネル換気型無窓鶏舎の場合（直立ケージシステム），鶏糞水分の量的な差異は，排泄からサンプル採取までの経過時間を考慮する必要はあるかもしれない。

本試験では，冬季において実際に鶏卵生産をしている開放鶏舎およびトンネル換気型無窓鶏舎から鶏糞サンプルを採取し，それらの水分含量を測定して，両鶏舎間での数値比較を行った。その結果，冬季のトンネル換気型無窓鶏舎において，除糞ベルト上に蓄積されていた鶏糞の水分含量（1，2階の平均69.5%）は，開放鶏舎における値と比べて大差なかった（平均70.7%，表1）。ところが，冬季と夏季で比べてみると，本研究でも開放鶏舎では鶏糞の水分含量に有意な差が見られたが（冬季 < 夏季）⁴⁾，トンネル換気型無窓鶏舎では大きな季節間差は認められなかった¹⁵⁾。これらのことから，鶏糞の水分含量に見られた冬季と夏季の季節間差は，鶏舎を取り巻く環境要因（空気中の相対湿度）と，開放鶏舎とトンネル換気型無窓鶏舎の環境制御能力の差異に起因しているものと考えられた。松尾農場では，トンネル換気型無窓鶏舎から搬出される水分含量の比較的安定した鶏糞は，開放横型ロータリー攪拌式発酵槽で強制的に発酵・乾燥処理していた。これに対して，開放鶏舎から出てくる水分含量のあまり安定しない鶏糞は，モミガラを用いて水分調整を行いながら，堆肥舎で一次発酵処理をして土壌還元していた¹⁶⁾。こうした鶏舎の構造や環境制御能力の違いにもとづく鶏糞の水分含量の違いに応じた処理法の適用は，まさに理に適っているように思われた。

5. おわりに

本研究の結果から，冬季に限って言えば，鶏糞乾燥装置付きのトンネル換気型無窓鶏舎における鶏糞の水分含量は，開放鶏舎と比べ大差ないことが明らかになった。また，冬季と夏季を比べてみると，開放鶏舎では鶏糞の水分含量に明らかな季節的差異が見られたが（冬季 < 夏季），トンネル換気型の無窓鶏舎では大きな季節間差は認められなかった。鶏舎構造の違いによらず採卵養鶏において鶏糞処理を行う場合，肥料や改良資材として土壌

還元するのが、現在でも主な方法である。そして、鶏糞を土壌還元する場合には、必ずと言ってよいほど発酵処理や水分調整を行う必要があった^{1,15)}。しかしながら、近年では鶏糞を材料にバイオセラミックスをつくる新技術が報告されており、このバイオセラミックスは抗ウイルス活性を持つということで大変に注目を浴びている^{3,9)}。この鶏糞由来のバイオセラミックスを作成するときでも、還元焼結処理をするために鶏糞の水分含量は、出来るだけ少ない方がよいように思われた。一方、次世代のエネルギー転換システムとして、ブロイラー養鶏に比べて比較的水分含量の多い採卵養鶏における鶏糞を、燃料化する超臨界水ガス化技術が期待されている¹⁷⁾。超臨界水ガス化の過程は水のなかの反応であるため、水分含量の高い採卵養鶏での鶏糞でも乾燥などの前処理を行わずに適用できる。こうした一部の例外を除くと、大多数の鶏糞の再利用には水分の調整は必須のものと考えるべきであろう。

謝 辞

松尾農場におけるトンネル換気型無窓鶏舎ならびに開放鶏舎におけるデータ収集を、快諾して頂いた(有)サントクファーム代表取締役 豊村彰治氏、ならびに実際に鶏舎内でのデータ収集に際して諸事ご配慮を頂いた松尾農場場長 古谷辰雄氏に深く感謝いたします。電子式水分計 (Moisture Balance) MOC-120H を無償貸与して下さった(株)島津製作所東京支社 分析計測事業部営業統括部 天びん営業課に深謝いたします。

文 献

- 1) 兵藤 博・西原幸彦 (2006) 低位生産林地における発酵鶏糞ペレットの施肥効果. 広島県林業技術センター研究報告, 38: 31-44.
- 2) 気象庁(2010)過去の気象データ検索. 地点の選択. 千葉, 2010

- 年2月(日ごとの値) 主要要素. Available from URL: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/view/daily>
- 3) 三好勇紀・埴 英子・森川佳江・Jahangir A・Ruenphet S・Dany S・岡村雅史・中村政幸・竹原一明 (2009) バイオセラミックスによるインフルエンザ対策. バイオセキュリティの強化. 第148回日本獣医学会学術集会 講演要旨集, E-17, 鳥取.
 - 4) 岡田光弘・栗原 勇・遠藤 篤・大泉長治・柴田るり子・高山文雄 (1986) 鶏ふん性状の季節変動. 千葉県畜産センター研究報告, 10: 102-103.
 - 5) Patterson PH, Sunde ML and Pimentel JL (1989) Water consumption and fecal moisture of laying hens fed wheat middlings and corn-soybean-alfalfa meal diets. Poultry Science 68: 830-832.
 - 6) 篠原啓子・武内徹郎・大谷長治・中西隆男 (1996) 採卵鶏の24時間行動調査. 徳島県畜産試験場研究報告, 37: 66-68.
 - 7) Statistical Analysis System (SAS) (2004) SAS Software ver.9.1., SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
 - 8) 高原康実・田口和夫・北 和夫・川島英嗣・山田義武・目加田博行・三徳四十四 (1996) 採卵鶏における環境対策について. 一送風による鶏糞水分低減化の検討. 岐阜県養鶏試験場研究報告, 43: 21-25.
 - 9) Takehara K, Chinen O, Jahangir A, Miyoshi Y, Ueno Y, Ueda S, Takada Y, Ruenphet S, Mutoh K, Okamura M and Nakamura M (2009) Ceramic powder made from chicken feces. Anti-viral effects against avian influenza viruses. Avian Diseases 53: 34-38.
 - 10) 徳永 英・西田幸夫・辻本 誠 (2003) 市街地火災拡大の要因に関する研究 (その2). 日本建築学会大会 学術講演梗概集 (東海), pp. 115-116, 名古屋.
 - 11) 対馬宣道・向後克哉・太田能之・吉田達行・山本一郎・田中実 (2008a) クーリング・パッドを備えたトンネル換気型無窓鶏舎の夏季における舎内環境の特徴. 畜産の研究, 62: 1069-1079.
 - 12) 対馬宣道・向後克哉・太田能之・吉田達行・山本一郎・田中実 (2008b) トンネル換気型無窓鶏舎の冬季における舎内環境の特徴. 畜産の研究, 62: 1189-1197.
 - 13) 対馬宣道・向後克哉・田村和治・豊村義彰・太田能之・吉田達行・田中 実 (2009a) 夏季のトンネル換気型無窓鶏舎における生物的温度表示の評価. 畜産の研究, 63: 330-338.
 - 14) 対馬宣道・向後克哉・豊村義彰・太田能之・吉田達行・中尾暢宏・田中 実 (2009b) 冬季のトンネル換気型無窓鶏舎と開放鶏舎の床面における二酸化炭素とアンモニアガスの分布と蓄積. 畜産の研究, 63: 983-993.
 - 15) 対馬宣道・向後克哉・越 康雄・田中広海・吉田達行・中尾暢宏・田中 実 (2009c) 夏季のトンネル換気型無窓鶏舎と開放鶏舎における鶏糞の水分含量の比較. 畜産の研究, 63: 1175-1186.
 - 16) 対馬宣道・古谷辰雄・向後克哉・越 康雄・田中広海・吉田達行・中尾暢宏・田中 実 (2010) 鶏糞の水分調整資材としてのモミガラについて. 畜産の研究, 64: 519-525.
 - 17) 柳田高志・美濃輪智朗・清水嘉久・松村幸彦・野田洋二 (2009) 活性炭触媒再利用を考慮した鶏糞の超臨界水ガス化によるエネルギー転換システムとその経済性. Journal of Japan Society of Energy and Resources 30: 10-16.