

実験動物飼育環境の評価体系の構築

～評価基準の適用と評価算出システムの開発～

河村 麻紀^{A)}, 近藤 圭^{B)}, 猪俣 加奈恵^{A)}, 上野 智代^{C)}, 藤野 郁^{D)}, 加納 聖^{D)}

生命科学課^{A)}, 技術企画課^{B)}, 総合科学実験センター^{C)}, 共同獣医学部^{D)}

1 はじめに

山口大学バイオメディカルモデル動物研究施設は、2015年の開設から10年が経過した。この期間、飼育ケージ数の増加や除湿機の導入、照明器具の飛散防止措置の実施など、施設環境はハード・運用の両面で変化し続けてきた。しかし、照度、騒音、塵埃、ならびに臭気といった主要な環境因子に関する定量的な実測調査は、これまで十分に行われてこなかった。飼育環境の定量的評価と実態把握は、実験の再現性向上、動物福祉の向上、ならびに作業者の健康リスク低減の観点から不可欠な課題である。特に、マウスの生活圏であるケージ内環境の正確な把握は、動物福祉の観点からも重要である。

こうした状況を踏まえ、これまでの目視中心による主観的な判断に基づく管理から脱却し、客観的なデータに基づく自主点検体制の整備を推進することとした。

そこで本報告では、動物と作業者の双方からのアプローチとして飼育環境の定量的評価を確立することを目的とし、人における基準を動物環境に準用する手法を試みた。具体的には、日本建築学会による指針[1]を参照しつつ、一般的に建物環境測定(建築物衛生法)[2]および作業環境測定(労働安全衛生法)[3]で用いられる基準を実験動物の飼育環境へ適用した。本学の作業環境測定士と連携して実施した、これら定量的な実測調査の内容と成果について詳述する。

さらに、現場の実態に即した独自の評価体系の構築プロセスに加え、迅速な評価を可能にする算出システムの開発、および実際の試行結果から得られた技術的知見についても述べる。

2 評価基準の適用と算出方法

2.1 評価基準の定義

飼育環境を客観的に評価するため、前述の公的基準[1-3]に基づき、建物環境測定の基準値を「快適性評価(E_1)」および作業環境測定の基準値を「健康障害リスク評価(E_2)」へと再定義し、環境因子の基準を設定した(表1参照)。これらの基準を飼育ケージ内環境へ適用することで、作業者だけでなく実験動物に対しても、人と同様の評価尺度を用いた一元的な環境評価が可能となった。これにより、動物福祉と作業環境の適合状況を共通の基準で把握できる体制を整えることができた。

なお、評価体系の確立にあたっては、本学の作業環境測定士から専門的な技術助言を得ることで、各環境因子の法的解釈と現場実態との整合性を確保し、評価の客観性を担保している。

表 1. 環境因子の測定および評価の基準値

環境因子	快適性評価 (E_1)	健康障害リスク評価 (E_2)	備考
照度	150 ~ 300 lx	—	[1]に基づく(健康リスク基準はなし)
騒音	60 dB	85 dB	[1]および[3]に基づく
塵埃	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	[2]および[3]を準用 [注]
臭気	20 ppm	50 ppm	[1]および[3]に基づく

[注]実験動物施設の飼育中に係る塵埃の直接的な基準はないため、他施設の基準を準用している。

2.2 統計的な算出方法

快適性評価には、各地点の測定値の平均である「算術平均 (M)」を採用した。算術平均値と快適性基準値 (E_1) との関係に基づき、以下のように快適性の数値を判定するルールを定めた。

- ・ 快適: $M < E_1$
- ・ 不快: $E_1 \leq M$

一方、健康障害リスク評価には、値のばらつきを考慮した「幾何平均 ($M_1 \cdot M_2$)」および「第一・第二評価値 ($EA_1 \cdot EA_2$)」を算出する手法を用いた。算出には常用対数 ($\log_{10}$) を用い、以下の式に基づき計算を行った。

$$\bullet \log_{10} EA_1 = \log M_1 + 1.645 \sqrt{(\log_{10} \sigma_1)^2 + 0.084}$$

$$\bullet \log_{10} EA_2 = \log M_2 + 1.151 \sqrt{(\log_{10} \sigma_2)^2 + 0.084}$$

(※ $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ は幾何標準偏差)

これらの評価値に基づき、飼育環境の状態を以下の通り 3 つの管理区分に分類し、客観的な数値判定を行うルールを確立した。

- ・ 第 1 管理区分(安全): $EA_1 < E_2$
- ・ 第 2 管理区分(改善必要): $EA_2 \leq E_2 \leq EA_1$
- ・ 第 3 管理区分(危険): $EA_2 > E_2$

人と同様の統計手法を用いることで、個人の主観を排した確実な環境評価が可能となった。

2.3 実測手順の標準化

測定の再現性を確保するため、以下の機器および手順を標準化した(写真 1 参照)。なお、本調査は自主点検体制の迅速かつ安価な構築を目的とした試行であるため、一部に簡易型の測定器を採用している。測定時は粉塵計や検知管の接続を確実にし、気流を遮らない位置に設置することを徹底した。



写真 1. 測定風景

- ・ 照度:照度計(MonotaRO M101). 数値が安定するまで(約 1 分間)保持し, その値を記録する.
- ・ 騒音:騒音計(SUTEKUS GM1351). 10 秒ごとの最高値を 6 回測定し, その最大値と最小値の中央値, ならびに最大値を記録する.
- ・ 浮遊粉塵:粉塵計(GOYOJO DT-96). PM2.5 および PM10 を同時に 1 分間自動連続測定し, 評価にはその合算値を用いる.
- ・ 臭気:ガス検知管および採取管(GASTEC GV-100). 低濃度用の 3L を基本とし, 基準超過時は 3M を使用する. 100ml の吸引を行い, 45 秒間静置した後に変色値を読み取る.

3 環境測定の実施方法

施設内の実態を網羅的に把握するため, 以下のルールを定めた. 飼育室内は空間を等間隔に分割した 3 点以上, ケージ内は 3~6 点を測定地点とし, 室内およびケージ内の各ポイントにおける高さの基準を定めた(図 1 参照). 実施時期は, 環境負荷が最小となる「0 日目」と, 汚染が蓄積する「7 日目」の 2 回とした.

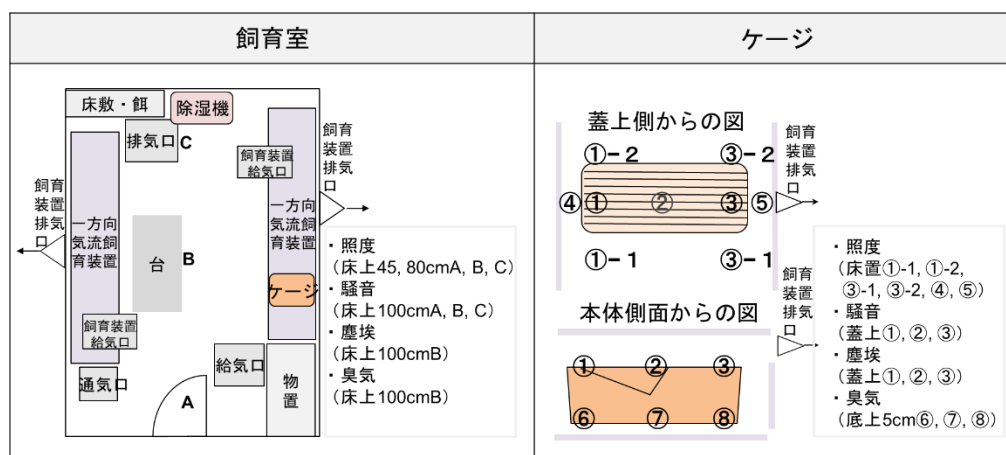


図 1. 測定ポイントの配置図

4 評価算出システムの開発

複雑な統計計算の自動化と人的ミスの防止を目的とし、Excel および Google Apps Script (GAS)を用いた「動物飼育環境評価算出表」(図2 参照)の開発に着手した。システムは、現場で用いる記録用紙と連動し、入力値から評価値を自動出力する仕組みを目指している。

動物飼育環境評価算出表		測定者	入力者	結果呼び出し	
①基本情報を入力してください。		部屋番号	ID	日付	部屋番号
1.動物種	マウス	※飼育している動物種を選択 (現行ラット・マウスのみ)		測定種	-
2.飼育環境記入	ゲージの広さ	m 2		ID	
	局所排気装置の使用	使用		呼び出し	
	測定時	開始時間	終了時間		
3.測定日時	温度 (°C)	湿度 (%)			
4.備考					
※任意					
5.測定結果及び評価					
	測定種	アンモニア	測定種を選択してください		
	健康障害リスク基準	50 ppm			
	不快基準	20 ppm			
②測定結果を入力してください					
測定点	測定値	評価結果	評価値	単位	
1		平均値		ppm	
2		幾何平均値		ppm	
3		第1評価値	-	-	
4		第2評価値	-	-	
5		温度不快指数		%	
6					
7					
8					
測定数	0				
		不快評価	温度不快評価		
		快適			
		健康障害リスク結果	健康障害リスク結果 (温度)		
		第2管理区分			
		評価結果			
③行いたい評価・作業のボタンを選択して下さい。					
メニュー					
評価 開始 ボタ ン	温度 評価 ボタ ン	別測定種入力	クリア	結果 票作 成	総合評価入力

図2. システム画面(動物飼育環境評価算出表)

現時点ではシステムの枠組みを構築した段階であり、幾何平均の算出や管理区分の自動判定を行うアルゴリズムを実装している。具体的には、常用対数($\log_{10}$)を用いた幾何平均および第一・第二評価値(EA_1 ・ EA_2)の算出機能、ならびに基準値との比較により環境の状態を「第1～第3管理区分」として自動表示する条件分岐プログラムが含まれる。本システムは現在開発の途上にあり、今回の実測データの解析への寄与には至っていないが、客観的な数値判定を運用するための基盤は整えられた。今後は、実際の測定データを用いた算出精度の検証とインターフェースの改良を重ね、現場での円滑な実用化を目指す計画である。

5 試行結果および考察

照度、騒音、塵埃、ならびに臭気の4因子について実測調査を行った結果、環境負荷が最小であるケージ交換直後の「0日目」と比較したところ、汚染が蓄積した「7日目」のケージ内データにおいて顕著な傾向が見られた。

照度については、0日目(112 lx)と7日目(103 lx、基準値:150～300 lx)で大きな変動はなく、いずれも基準値の範囲外であった。これは飼育装置の壁による影の影響が大きく、快適性評価としては不快と判定された。マウスの活動サイクルに鑑みると、不快感の受容は時期により異なる可能性があり、単一の数値のみで一律に評価することの難しさが示唆された。

騒音および塵埃については、期間を通じて数値が概ね同水準で推移した。騒音は算術平均 55.0 dB(基準値:60

dB) 前後であり、平均値としては快適範囲内に収まっているものの、瞬間的に 60 dB を超える場面が確認されており、騒音源の適切な管理が求められる。

塵埃については、0 日目 ($14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) と 7 日目 ($15.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 基準値: $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) で大きな変化は見られず、基準値に対して十分に低い数値であった。これは換気が良好で衛生的な環境が維持されていることを示している。

一方、臭気(アンモニア)については最も顕著な変化が見られた。0 日目の平均値 1.7 ppm に対し、7 日目には 33.3 ppm (基準値: 20 ppm) へと劇的に上昇した。さらに健康障害リスクの第一評価値 (EA_1) は 131.0 ppm に達し、基準値 (50 ppm) を大幅に超過した一方、第二評価値 (EA_2) は 44.0 ppm と基準値以下にとどまった結果、快適性評価では不快と判定され、健康障害リスク評価においては第 2 管理区分(改善必要)に該当することが判明した。

以上の結果から、ケージ交換後 7 日目においてアンモニア濃度が改善を要するレベルに達していることが数値的に証明された。この事実は、現在のケージ交換周期の妥当性を検討する上で重要な根拠となる。また、人の基準値を動物にそのまま利用することについては、現状の動物環境といくつかの点で検討の余地があるものの、十分な指標となり得るものと推察される。このことから、動物福祉の向上および適切な作業環境維持のためには、主観的・感覚的な判断に頼るのではなく、こうした実測データに基づいた施設管理運用を推進していく必要性が、今回の調査によって改めて示された。

6 おわりに

本報告では、専門的な知見と現場の着眼点を融合させた独自の評価体系を提案した。今後は運用の精緻化を図り、動物福祉の向上と施設管理の適正化を推進していく。

謝辞

本業務は、山口大学総合技術部プロジェクトの助成を受け、当プロジェクトチームが主体となり評価体系の構築および実測調査を遂行したものである。実施にあたり、飼育環境のご提供と多大なるご協力をいただきました本学共同獣医学部発生学研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

また、評価体系の構築および実測にあたり、本プロジェクトの一員として専門的な観点から多大なるご尽力をいただいた作業環境測定士に深く感謝申し上げます。

なお、本報告の内容の一部は、2025 年 10 月に開催された「第 59 回日本実験動物技術者協会総会 in 山陰米子」において発表したものである。

参考文献

- [1] 日本建築学会(2007):
「実験動物の飼育および保護並びに管理の規範に関する指針の解説(環境・設備)」。
- [2] 建築物環境衛生管理基準(建築物衛生法)。
- [3] 作業環境測定基準(労働安全衛生法)。