招待講演要旨

ケージサイズについて考える

佐藤徳光
新潟大学医学部

1.はじめに

実験動物にとって最も身近な物理的環境は棲息場所となるケージである。動物福祉の視点から、真っ先にケージの広さが問題にされるのは当然のことかもしれない。

一般に、いかなる動物種も束縛を好まないし危険に際しては逃避場所を求めるというのが本来の特性であろう。したがって、野生の自然が動物にとって理想の環境とみなす考えに異論はない。束縛するにしても、平均的な動物園程度の広さなら一般的には動物福祉上ことさら批判をあびることはない。

しかし、生命科学実験の場においては、対照群（無処置群）と実験処置群の反応差を厳密に比較し結論を得る必要から、実験条件は高度に統御されねばならない。つまり、誰が・何時・何処で実験しても、同じ実験テーマなら同じ結果が得られなければならない、という命題が横たわる。従って、不確定要素の多い野性的自然環境下での実験行為は不適性となる。少なくとも、過去、そういった反省に立って実験動物科学は進展してきた。

実験条件に付き物の、動物の保管、グルーピング、飼育管理、保定、実験処置、観察等が無理なく行えるように、また、感染防御を目的として行われるケージ類の洗浄・消毒なども容易なように、ケージサイズは、どちらかと云えば操作性を重視しコンパクトな形態が好まれるといった側面があり、そういったことから中には動物福祉の面で動物の生活空間を犠牲にしているのでは、との反省も出る。

他方、我が国の平均的ケージサイズが、欧米諸国のガイドラインに比較し狭小であるとの批判がある。さらに、欧米では最近一段と動物に自由行動を保証する動きさえ出てきている。例えば、英国などでは、ウサギの飼育はペン方式が理想と言っており、そのスタイルは、どちらかと云えば、わが国が近代化以前に行っていた飼育方式にも似てきている。その上、動物臭を消さないためにケージ洗浄を抑制するなど、最近の動きには実験する立場を離れた行き過ぎとも思える内容も散見される。今後、欧米のガイドラインと我が国のそれをいかに調整するか、欧米のものをそのまま受け入れていってもよいものかどうか、これについても一度は真剣に考えてみる時期ではないだろうか。

つまり、動物福祉を優先するあまり、実験行為そのものが難しくなったり、データに再現性を欠くようになるのでは、この問題を論ずる意味そのものが稀薄になってしまうからである。動物実験の場で動物福祉を考える場合、結局のところ、あくまで実験の成功を第一義とし、動物の必須行動を阻害しない範囲のケージサイズを求めて、どこに接点を求めるかという問題に収斂するのだと思う（図1、参照）。

さて、ケージサイズの設定に対し、万人が納得ゆく科学的データを求めてみても、絶対的なものはなかなか見いだせない。調査した多くの論文も、動物を束縛しない方がストレスは少ないとの相対的結論で、ある意味で、もっともな観察結果である。しかし、実験行為そのものが動物を拘束し、これに何らかの刺激を加える行為でもあり、実験の科学性と倫理性の両面を満足させる接点を科学的にきちんと出すとなると、これはなかなか難しい問題である。いかなる科学的データが揃えば納得性ある結論を出せるものなのか、それは恐らく絶対的なものでなくてはならないだろうから大変悩む問題でもある。

ここでは、敢えて文献の紹介やその利用を極力さけ、独断的ではあるが、一つの試（私）案を提示し、大いなる議論を誘発したいと願った。これは、後の項でも述べるごとく、我々プロジェクトチームに与えられた使命ないし目標に照らしてのことである。この意図を御理解頂いて、先ずはこの序論として述べる試案に対し、それぞれの立場から率直な御意見をお寄せ頂きたいのである。なお、本稿ではケージの床面積に限定する。高さについては違った要素も加わるので別な機会にふれたいと思う。

2.擬人的考え方（試案）

動物福祉に重点を置いてケージサイズを考える時、動物を擬人化して考えるのも一法かもしれない。

あまり良い例とはいえないが、逆の発想で、ヒトが新薬の人体適応試験のボランティアになった時のことを考えてみたい。この際は最低限、ビジネスホテルのシングルルームに2週間程度、缶詰になったと仮定しよう。シングルルームは、ベッドスペースの約4倍あり、睡眠（ベッド）、排泄（バスルーム）、摂食（ルームサービス）、それに最低限度の運動を保証してくれる空間とみなせる。たまに外へ出たいという願望をおさえれば大きな不満もなく何とかなるであろう。

この基本空間を実験動物に当てはめてみてはどうだろうか？、つまり、実験動物のベッドスペースを求め、その4倍をケージサイズと考えてみるのである。床がスノコ形式の場合、排泄スペースは省略できるから3倍でも良いとの考えも成り立つが、今回はすべて4倍方式で考えてみる。

以下には、数種の実験動物を対象にベッドスペースを求めてみた。集団飼育（マウス、ラット、モルモット）の場合、市販ケージを図2のように4分割し、S（ベッドスペース）に何匹の個体が寄り添えるかを調べた。その個体数で全体のケージサイズを割れば、1匹当たりの生活空間が割りだせる。個別飼育（ウサギ、イヌ）の場合、市販ケージの多くは4分割スペース（S）はベッドスペースとして狭すぎる。そのため、それぞれが無理なく横臥できるベッドスペースを観察・測定し、それを4倍して新しくケージサイズを割り出してみた。結果は表1の通りである。

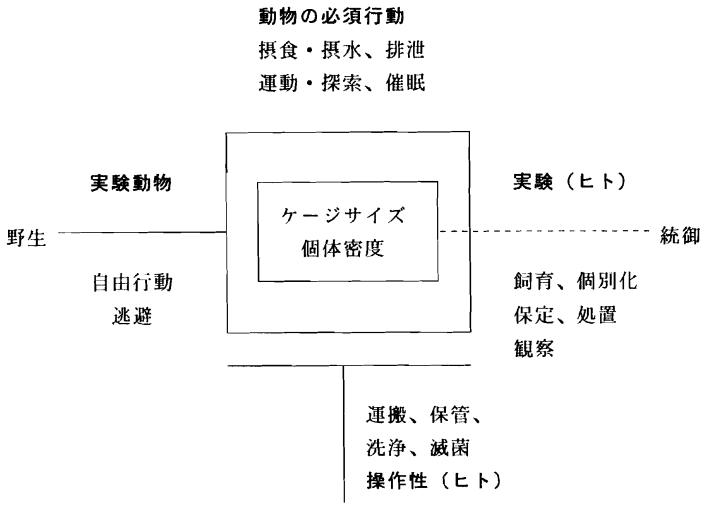

図1　ケージサイズを規制するファクター

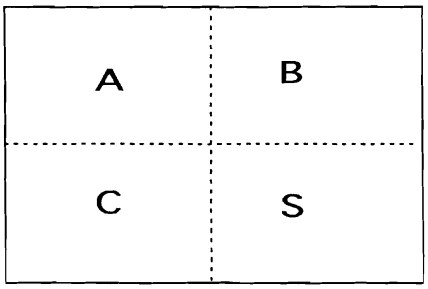

図2　ケージの4分割

表1　ベッドサイズの4倍ケージ方式

動物種	平均体重（kg）	ケージ広さ（巾×奥行きcm）	匹／ベッドサイズS	床面積／匹（cm^2）
マウス	0.029	11.0×25.5	3.5	80
		25.5×40.0	12.5	82
ラット	0.199	23.5×34.5	2.75	295
		25.5×40.0	3.5	291
モルモット	0.265	30.0×48.5	4	364
ウサギ	2.220	30.0×48.5	0.45	−
		70.0×45.0*	1	3150
イヌ	9.500	73.5×77.5	0.5	−
		155.0×77.0*	1	11935

*）ベッドサイズから割りだした架空の新型ケージ

3.科学的パラメータを求めて

今回、試案としたベッドサイズの4倍ケージ方式を評価するため、参考にしうる一般的なパラメータを探してみた。

ほ乳動物の生態学ないし行動学上の知見として、ほ乳動物種の成体体重（W）と生理・行動などに幾つかの相関が知られている（本川達雄著、ゾウの時間ネズミの時間、中公新書、参照）。その中で、次の関係式は参考になるものと思われる。

○体重当たりの標準代謝量　$=41W^{-0.25}$（ワット／kg）　・・・(a)

○棲息密度$=55W^{-0.90}$（匹／km^2）　・・・(b)

○行動圏$=0.154W^{1.06}$（km^2）　・・・・(c)

まず、a式に実験動物の体重を導入してみた。結果は表2の様になった。つまり、マウスはイヌに比較し体重kg当たり4.25倍も代謝が早いという値が得られる。これは、小型動物ほど単位体重当たりの酸素消費量が多いという特徴を示す。アイソレーションケージなど密閉方式を採用する際は、飼育密度やケージ換気量の設定に特に配慮すべき値と思われる。また、ほ乳類のケージ内行動は平面的であるとみなせるから、この数値は、つまり、密閉空間での空気面積（床面積）への潜在要求度を示す係数とみてもよい。すなわち、密閉型空間ではマウスはイヌより単位体重当たり4.25倍の床面積要求度ないし換気量要求度を内在するとみたい。

非密閉型の通常ケージは、見ようによって穴蔵のようなものであり、空気の淀んだ半密閉状態とみれば、ある程度この係数を加味した配慮は必要になるのかも知れない。

b式は野外で観察される特性で、動物種の行動特性（単独、群れ）、食料分布密度などにより大きく影響を受ける数値とも思える。ただ、平均的には成体体重（体型の大きさ）に関係した平均的棲息密度を反映するとみてよいであろう。同様に実験動物の体重を導入してみた。結果は表3のごとくである。つまり、体重9.5kgのイヌ1匹の生活空間には29gのマウスなら約184匹棲息するという値になる。

c式は野生での行動圏を示すものである。同様に体重を導入してみると結果は表4のごとくであった。体重9.5kgのイヌ1匹の行動範囲は、体重29gのマウス1匹の行動範囲の約476倍に相当する。実験室内の狭い空間では、この値は潜在的行動欲求量を示す係数と考えてみたい。

表2　ほ乳動物体重当たりの標準代謝量

動物種	平均体重(kg)	$41W^{-0.25}$	酸素消費量比（対イヌ）
マウス	0.029	9.935	4.25
ラット	0.199	6.139	2.63
モルモット	0.265	5.714	2.45
ウサギ	2.220	3.359	1.44
イヌ	9.500	2.335	1.00

表3　ほ乳動物の棲息密度

動物種	平均体重（kg）	$55W^{-0.90}$	棲息密度比（対イヌ）
マウス	0.029	1331.08	183.6
ラット	0.199	235.18	32.4
モルモット	0.265	181.73	25.1
ウサギ	2.220	26.81	3.7
イヌ	9.500	7.25	1.0

表4　ほ乳動物の行動圏

動物種	平均体重（kg）	$0.154W^{1.06}$	行動範囲比（対マウス
マウス	0.029	0.00352	1.0
ラット	0.199	0.02782	7.9
モルモット	0.265	0.03768	10.7
ウサギ	2.220	0.35864	101.9
イヌ	9.500	1.67459	475.7

表5　アイソレーション方式で参考になると思われるパラメータ

動物種	平均体重（kg）	酸素消費量比	密度係数	行動範囲係数
マウス	0.029	4.25	43.2	1.0
ラット	0.199	2.63	12.3	4.9
モルモット	0.265	2.44	10.3	6.1
ウサギ	2.200	1.40	2.6	33.6
イヌ	9.500	1.00	1.0	111.9

ところで、アイソレーションケージなど密閉型の飼育方式では、酸素消費量比は重要なファクターである。表1の酸素消費量比を床面積要求度とみなし、bおよびc式に反映するとすれば、棲息密度は床面積要求度分薄めてやる必要があるし、また、行動範囲は床面積要求度分広げてやらねばならないであろう。すなわち、次のdおよびe式で得られる係数（表5）は、マウス・ラットなどを集団でアイソレーションケージで飼育する場合、個体密度や換気量の設定に一つの参考となるパラメータと思われる。

○密閉型ケージ内棲息密度係数＝棲息密度÷酸素消費量比　・・(d)

○密閉型ケージ内行動範囲係数＝行動範囲×酸素消費量比　・・(e)

4.ベッドサイズ4倍ケージ方式の評価

表1で得られた床面積から、ケージ内個体密度比（棲息密度比）ならびに床面積比（行動範囲比）を計算してみた。結果は表6の通りである。馴応した実験動物と野生動物の生態学的特性を直接比較するのは必ずしも妥当でないが、ここでは、とりあえず実験動物も野生でみられる特性を潜在させているものとみなし考察を加えてみたい。

ベッドサイズ4倍ケージ方式で得られたケージ内密度は、表3で得られた自然環境下（酸素消費量比による補正なし）の相対値に近いといえる。

一方、実験動物個体当たりのケージ床面積は、野外環境からすれば絶対値に相当の開きが出るのは止むをえない。したがって、ここでは行動範囲比の評価が中心となるが、実験動物のケージ床面積比は表5の行動範囲係数（酸素消費量比を補正した係数）に近似しているように思われる。

表6．ベッドサイズ4倍ケージ方式の評価

動物種	平均体重（kg）	ケージ広さ（巾×奥行きcm）	ケージ内密度比（対イヌ）	床面積比（対マウス）
マウス	0.029	11.0×25.5	149.2	1.0
		25.5×40.0	145.5	1.0
ラット	0.199	23.5×34.5	40.6	3.7
		25.5×40.0	41.0	3.6
モルモット	0.265	30.0×48.5	32.8	4.6
ウサギ	2.220	30.0×48.5	-	-
		70.0×45.0*	3.8	39.4
イヌ	9.500	73.5×77.5	-	-
		155.0×77.0*	1.0	149.2

*）ベッドサイズから割りだした架空の新型ケージ

5.ケージサイズ基準化への具体的動き

国立大学動物実験施設協議会では、大学等における適正な動物実験の遂行のため、実験動物の保管管理設備・器材等の見直しを一つの課題に取り上げている。特に、欧米の基準に照らし問題の多いケージサイズが焦点となり、これの適正化ないし基準化を目標に置いている。

実際、ケージサイズの規定についてはさまざまな意見があり、その集約は大変苦労の多いところである。これまでの討論で多数意見と思われることは、1)わが国でもケージサイズに関する基準は持つ方がよい（もつべきである）、2)サイズの規制には可能なかぎり科学的根拠を付随させるべきである、3)欧米の基準をそのまま導入するのは安易すぎる、と言ったものである。

我々は、科研・総合（B）での予備検討を踏まえ、現在引き続き総合（A）班を結成し具体的作業に入っている。平成7年度夏には暫定規格案を作成、その後、目下改訂作業中のＮＩＨグループ、あるいはカナダ、ＥＣ、イギリスなどのガイドライン策定グループと意見交換を行いながら本案をにつめ、平成8年度春には具体案を提示したい、となっている。

当問題の出発点は国立大学動物実験施設協議会ではあるが、基準の提示は間接的ながら社会的影響も大であると予想されることから、広く各界の意見を聞き、かつ、慎重な行動が望まれているところでもある。

今回、岡山実験動物研究会において当問題が取り上げられ、大変良い機会でもあるので、さしあたり序論として（問題提起のため）個人的試案を述べた。したがって、本稿で記したベッドスペースの4倍ケージ方式は必ずしも我々プロジェクトチームの統一見解とはなっていない。当プロジェクトチームは下記班員で構成されているが、全員が目下のところ有益な科学的根拠を求めながらの活動を行っている。

各班員に対し、それぞれの専門分野から率直な（建設的な）ご意見をお寄せ頂ければ幸いである。

○プロジェクトチーム

サル類：松林清明（試験研究ならびにケージ規格の立案）

有蹄類：大和田一雄（国内外調査ならびにケージ規格の立案）

イヌ：三浦豊彦（国内調査、文献等資料を基にケージ規格の立案）

ネコ：八木沢誠（国内調査、文献資料等を基にケージ規格の立案）

中小動物：伊藤勇夫、浦野徹（文献調査、追加実験、ケージ規格の立案）

国外規格：黒沢努（ＮＩＨ規格等の再評価、国内外調査資料の分析）

総括：佐藤徳光（全体の調整、総まとめ）

（実験的研究の追加）

イヌ用スノコの材型：藤沢信義、佐藤徳光（丸型・平板すのこの比較）

マウス、ラット：浦野徹（飼育密度の再検討－集団行動面からの解析）

新型ケージ：倉林譲（小動物密閉式ケージ－血液ガス分圧面からの解析）

繁殖用ケージ：斉藤徹（中小動物の繁殖行動の解析と繁殖用ケージの規格化）

スンクス：辻敬一郎、石井澄（スンクスの行動解析と飼育管理設備）