

動物園のバイオクライマティックデザイン

正会員 ○ 齊藤 雅也 *1
同 本田 直也 *2動物園 室内気候 表面温度
環世界 放射 地域性

1. はじめに

現代の動物園は、国内外を問わず飼育動物に対して適切な生育環境を提供する「動物福祉¹⁾」への配慮が求められている。これは、動物に対して不快な時間・空間をできるだけ解消し、動物本来の行動をひき出すことに他ならない。例えば、動物の生息環境を再現し、動物のウェルネスを高め、(希少種の)繁殖を促すことは動物福祉の面から有効な手法と言える。バイオクライマティックデザイン(以下、BD)は「その地域の自然環境に合致し、地球環境を維持できる、人間に快適かつ喜びを与える建築デザイン²⁾」と定義されているが、人間を含むすべての動(植)物にBDの対象を拡げれば、動物園にはBDを採用する意義がある。

動物福祉に配慮した環境条件がわが国よりも管理されている欧州の動物園ではBD手法が採用された「室内展示」が主である。その理由は、屋外展示はその地域の気候の影響を強く受け、生息環境を正確に再現するには室内展示が制御しやすいからである。つまり、動物舎は、周囲からの日射や風雪などの外乱や動物舎からの熱損失を最小限に抑え、必要な光や熱、空気、水を円滑に採り入れることができるシステムになっている。BD建築に謳われている、高い遮熱・断熱・蓄熱・換気等に関わるハード面の性能と、飼育技術者の適切なソフト面の環境調整能力が求められる。

BDに配慮した動物舎と飼育技術者が創り出す良質な室内気候は希少種の繁殖にも寄与する。欧州の動物園の施設計画や繁殖活動は、その全容を理解した地域の住民や企業からの寄附で成り立っている。公営でありながらも寄附による資金調達によって運営され、動物園はその国や都市の文化レベルを表すと言われている。

一方、わが国の動物園は1951年に施行された「博物館法」において社会教育施設と位置づけられている³⁾。しかしながら博物館はその地域の教育委員会に所管されているが、動物園・水族館は自治体直営ならば公園課や環境課などが運営を担い、教育施設としての十分な予算措置がないことが多い。また、戦後の平和の象徴として国内各都市に(自治体直営として)一斉に開園した動物園は、屋外展示が主である。仮に室内空間(主に寝室)があっても動物福祉を満足し得ない室内気

候に陥っていることが多いと考えられる。

国内動物園の動物舎の築年数が40～50年に達した2000年前後、国内外の動物専門家や市民から飼育管理方法に対する批判が高まり、それ以降は動物舎の建替えや改修の事例が増えた。しかし、動物福祉とBDへの複合的な配慮が事業全体に浸透したケースは稀で、来園者の観覧空間デザインが優先される傾向がある。

本OSでは、BDのコンセプトから実際の設計へ橋渡しをする人材育成に関わる話題提供として、筆者らが関わってきた動物舎デザイン(計画設計・運用)の事例について紹介する。具体的には、意匠・設備設計者・飼育技術者・建築環境学者の関係を整理し、設計事例を踏まえてそれぞれの課題と考察を述べる。

2. BD建築の設計者・施主の関係

一般建築において、設計者と施主の関係は、個人住宅の場合は図1のような関係があると推察される(あくまでも筆者仮説)。個人住宅の施主は家族のなかでも主として母が設計者との交渉の中心を担い、設計者と父・子の間に入り調整・交渉するケースが多いとされる。設計者はその家の「奥様」に理解してもらえるように予算を含む与条件を整理し、情報を共有しながら設計が進められる。その際、BDに配慮した住宅の設計、運用を施主が希望している場合は、設計者だけでなく施主にもBDに対する専門知識が求められる。

また、病院などの医療施設の設計を考えると、設計者は病院に勤務する医師や看護師の声を聞く機会もあるが、病院に所属する施設管理者との交渉が比較的多いと考えられる(図2)。最近の医療施設は、医師や看護師の作業効率や建築・設備の省エネルギー性を高めることに寄与している事例がいくつかある。一方で患者の快適性に対する配慮はある一定の水準でなされているが、すべての患者がそれに満足しているとは言い難い状況である。例えば、窓側病床と廊下側病床では無視できない照度差があり、廊下側病床にいる患者が明るさに対する不快感をもつ傾向にある⁴⁾、⁵⁾。また夏季においては南面の窓側病床の患者に熱中症リスクが懸念されるなどのことがあり、BDに配慮した設計への改善、運用の工夫が求められている⁶⁾。

筆者（斉藤）は建築環境学の専門家として、2006年より札幌市円山動物園の動物舎デザインの新築や改修業務の監修に関わっている。その役割は、施主の動物園の獣医・飼育技術者と、プロポーザル方式で選定された設計者の間に入り、設計検討委員会ではBDに配慮した動物舎の計画設計の監修にあたることである。図1、2と同様に図3は動物園における設計者と施主の関係である。図2で示した病院の患者に対応するのが、図3の動物園では飼育動物と考えられる。

日本に数多くある公営動物園の設計業務は公共事業のため、①対象動物舎の計画・設計要件の整理を（札幌市円山動物園では、飼育技術者と札幌市都市局の建築職が）行なう。次に、②プロポーザル形式で建築設計者が選定される（札幌市では意匠設計者のみの場合と、意匠・設備設計者の組み合わせの場合がある）。③選定された設計者は、設計検討会議を動物園にて定例で開催し、基本・実施設計を進める。設計完了後、④施工業者の選定・着工、竣工（引き渡し）、⑤動物移動・運用（公開展示）と進む。

以上のプロセスにおいて重要なことは、①では設計条件を抽出し、②のプロポーザルの要綱に提示するための資料づくりを事前に行なうことである。また、③の会議では設計者から提供された建築図面の情報が、獣医や飼育技術者のイメージに重なるかがその後に強く影響するからである（大抵、ここが重ならないことが多い）。さらに動物舎竣工後の⑤の運用は飼育技術者が適切な生育環境を提供する上で重要である。

円山動物園のプロジェクト全体を通して、各関係者の役割と特長を整理すると以下のA)からD)になる。

A) 意匠設計者

意匠設計者は、プロジェクト全体を統括し観覧者の視点で「動物を見る楽しさ」を展示空間に展開するイメージを持っていることが特長である。プロポーザル審査において展示の提案が顕著に多い。またBDに関わる採光、窓を介しての日射（光）の入り方に対する意識は高い。一方、動物舎は通年の稼働施設で飼育動物は大半を室内で過ごす。意匠設計者の多くは、健やかな暮らしを保障する、断熱や遮熱、蓄熱などの熱環境の調整による室内気候デザイン（熱・空気環境）に対するイメージは設計当初は十分に持ち合わせていない。普段は人間を対象にしているのに対して、人間よりも環境適応性が低い（例えば、爬虫類・両生類）動物の生育条件（型）の本質的な理解は設計期間中に獣医や飼育技術者、建築環境の専門家を介して醸成される。

B) 設備設計者

設備設計者として室内の設定温湿度を満たすための

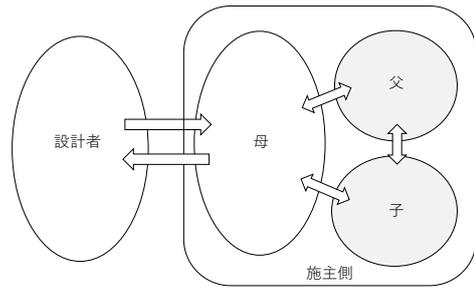


図1 個人住宅の設計者と施主の関係（筆者仮説）

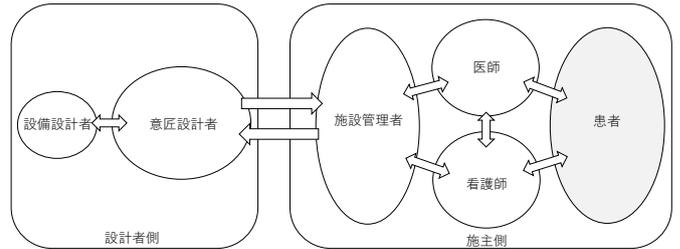


図2 医療施設の設計者と施主の関係（筆者仮説）

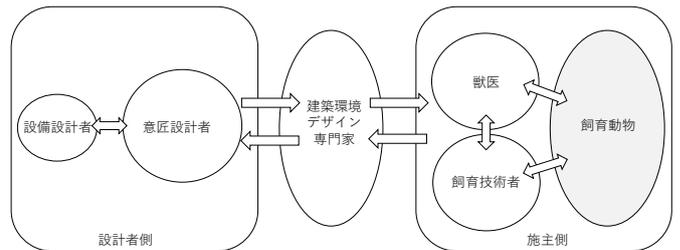


図3 札幌市円山動物園の設計者と施主の関係

熱負荷・換気計算を行ない、必要とされる電気・機械設備を配置する。温湿度の動的変化が人間や動物に与える影響については通常の設計業務では（温湿度の設定に誤りがなければ）気にしないで良いケースが多いので関心が高くなく。その一方で省エネルギー性に対する意識は昨今の環境配慮型建築の普及により高い。これは、目標となる温湿度を実現することがゴールになっていて、人間や動物が本来感じる心地よさや快適性の制御（熱負荷計算の先にある設計）には挑戦したことがほとんどないことによると考えられる。

また、一般には換気を含む空調制御による設計事例が多いので、放射暖房（冷房）の設計に対して躊躇いがある（北海道では放射暖房の計画に慣れた設備設計者は多いが、本州以西では未経験者が多い）。また、通年・終日稼働の施設で、寒冷地では外断熱工法の採用が有効であることが判っているが、「建築設備設計基準」では外断熱と内断熱による熱負荷が同じとされている。よって外断熱を採用した場合であっても、ボイラーやヒートポンプの容量が内断熱工法と同じで実際の設備容量としては過大となる。公共建築物であるとその基

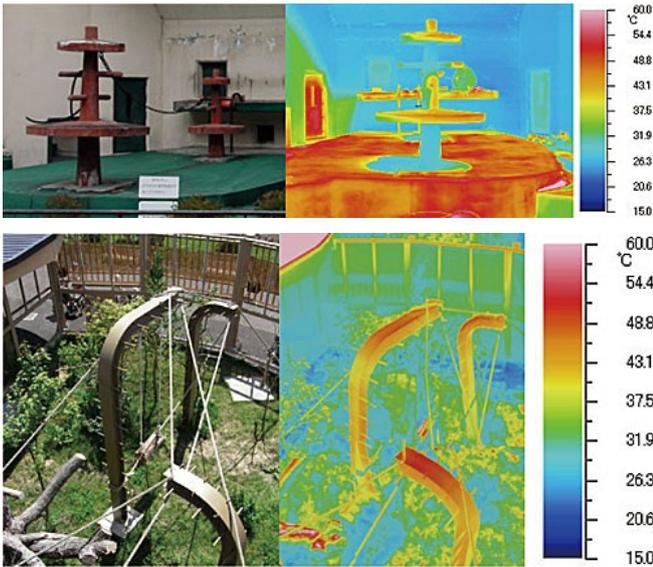


図4 オランウータン屋外放飼場 改修前後の熱画像
(上：改修前， 下：改修後)

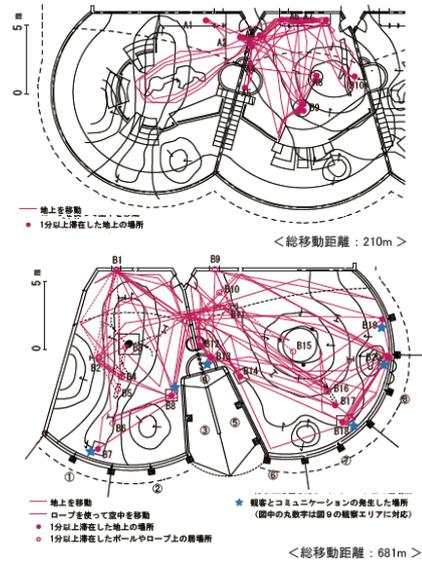


図5 オランウータン屋外放飼場 改修前後の行動
(上：改修前， 下：改修後)

準を順守しなければならないことが課題に挙げられる。

C) 獣医・飼育技術者

獣医・飼育技術者は、飼育動物を日々観察をして環境調整を行なっている。(当然のことながら) 建築の専門家ではないので、2次元の図面を実際空間に置換することが困難で、設計会議のなかでしばしば実際の空間ではどのような形態になるか、またどのような調整が可能であるかについての翻訳の時間が必要となる。また、飼育技術者から設計者への依頼が言語・図式化できないケースが発生し、完成した空間がイメージと異なる場合がある。これは、設計者が人間の視点で想像している対象空間と、獣医・飼育技術者が動物の視点で想像している対象空間の差、すなわち、Umwelt (環世界)^{7), 8)}の違いによると考えられる。

D) 建築環境デザインの専門家

本プロジェクトでは筆者(斉藤)が担当した。建築基準の設計者側(意匠設計者・設備設計者)と、動物基準の施主(獣医・飼育技術者)の間に入り、両者の橋渡しを行なうことが主な役割である。具体的には、以下のBD手法を設計者側、施主側にそれぞれが判るように翻訳して伝えた。①高い断熱性による温放射・冷放射が季節によって室内で生まれること、②室内表面温度がコントロールしやすく、人間・動(植)物に快適性をもたらすこと、③空調による強い気流と過度な乾燥を抑え、上下方向を活かした温度差換気ができること、④コンクリート造であれば熱容量(蓄熱性)を活かすことができること(外断熱工法)、⑤すべての結果として高い省エネルギー性を実現できること。

通常の設計では、特に設計者側が豊富な経験、高度な分析力をもっているケースでは建築環境デザインの

専門家が設計者と施主の間に入ることはあまりない。経験と分析力に裏付けられた設計者側から発せられる言葉は、建築の専門家ではない施主側にはある水準以上の説得力があるので、設計会議では了承の方向で進められることが多い。しかし実際の動物基準でみた場合に不安な要素は少なからずあり、それを獣医や飼育技術者から拾い、建築環境デザインの専門家が翻訳して設計者側に伝える役割が大切になる。これは今後、建築環境工学、建築環境デザインの専門家に求められる社会の新しいニーズと考えられる。なお、円山動物園の事例では札幌市都市局の建築部(建築技術職)の担当者も設計会議のなかで調整を担っていて設計者と動物園側の間に入り、建築全般の調整を行なっている。

3. 円山動物園のBD設計の事例

以下の3つの設計事例は、設計者・飼育技術者もつ環世界を意識した上で、両者の共通言語として「熱画像」・「表面温度」・「簡易計算手法」を筆者(斉藤)がプロジェクトの中で活用したものである。

3-1. オランウータン屋外放飼場の改修(2007)⁹⁾

図4と5は、オランウータンの屋外放飼場の改修前後の表面温度分布を示したものである。屋外放飼場を改修する以前の、夏の日中の放射環境が外気温よりも20°C以上の高温環境に曝されていて、オランウータンがほとんど動かない実態を赤外線放射カメラの「熱画像」を会議で共有した。設計者・飼育技術者全員で表面温度を下げる工夫について協議し、植栽・池の配置、起伏のある敷地にするなどの意見が出て、実際の設計に反映した。改修の結果、改修前後で夏季のオランウータンの移動距離が3倍に増えた。屋外空間なので外気

温は成り行きであるが、敷地の部位別の表面温度（放射環境）¹⁰⁾の調整によって、オランウータンに心地よい居場所を提供し、繁殖にも成功した。

3-2. は虫類・両生類館（2011）^{11)・12)}

寒冷地・札幌で熱帯産の爬虫類・両生類を室内で飼育展示するために外断熱工法を採用した。室内表面温度を概ね一定に維持しつつ、外気導入によって空気温度の変動・リズムを与え、ランプ等で表面温度分布を人工的に創ることができる（図6）。表面温度と空気温度に違いを与えるには、飼育技術者の外気導入などの巧みな調整が必要とされる。その結果、数多くの絶滅危惧種の繁殖に成功して他園に提供するに至っている。

3-3. オランウータン館（2023 竣工予定）

熱帯に生息するオランウータンを札幌の屋内で快適に暮らすことができる建物として、温放射が得られる室内気候デザインが求められた。設計時に断熱厚さに対する室内平均表面温（MRT）を予測方法を示した。一つは1質点系による表面温度の「簡易計算方法（蓄熱の影響なし）」を紹介し、設計者が自ら手を動かして検討できるようにした。もう一つは数値流体計算（CFD）の解析結果として表面温度分布を熱画像のように提示した（図7）。この結果より、どのくらいの表面温度に上昇するかを理解できる。ただし、CFD解析は計算モデル構築に時間を要すること、結果の読み取りに深い専門知識を要する。

4. まとめ

本報では動物園のデザインの事例を紹介したが、一般にBDのコンセプトから実際の設計へ橋渡しをする人材とその育成は極めて重要である。建築環境デザインの専門家はその役割を担うポテンシャルがあり、設計者自身が担える可能性もある。そのためには以下の項目に留意すると良いと考えられる。

- ・「熱画像」による表面温度分布の可視化と認識の共有（なぜ表面温度の分布が表れるか）
- ・放射熱と温度の違いを丁寧に説明できること。
- ・表面温度と空気温度の違いが表れる理由（設計者はこの違いが判っていないケースが少なくない）を把握する。表面温度を制御することで空気温度が制御しやすいことを理解し、説明できるようにする。
- ・簡易計算方法とCFD解析によって、室内の予測表面温度を示し、適切な環境調整のイメージを共有する。

参考文献

1) 新村毅編：動物福祉学，昭和堂，2022，2) 日本建築学会編：設計のための建築環境学，みつめる・つくるバイオクライマティッ

*1 札幌市立大学 教授・博士（工学）

*2 札幌市円山動物園 動物専門員・修士（デザイン）

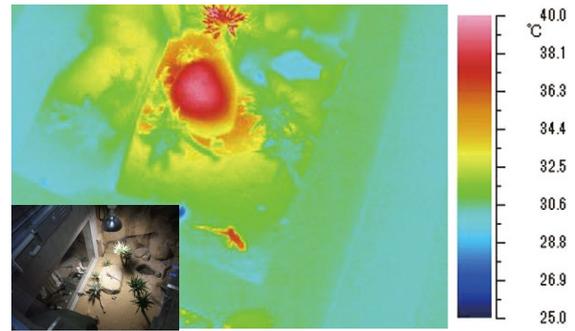


図6 「は虫類・両生類館」の室内展示の表面温度分布

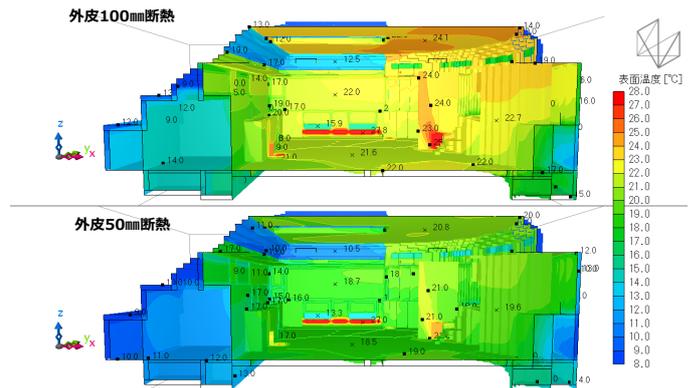


図7 オランウータン館（仮称）断熱厚さの違いによる室内表面温度の計算結果（札幌）
（上：外断熱100mm，下：外断熱50mmの場合）

クデザイン（第2版），彰国社，pp.8-9，2021，3) 齊藤雅也：動物園のクリマデザイン，札幌市円山動物園を事例として（特集いきものにとっての快適環境を考える），空気調和・衛生工学90(11)，pp.935-941，2016，4) 諸澤良浩・佐久間学・山川京子・細海加代子・樋之津淳子・齊藤雅也：病室のベッド周りのカーテンの有無が患者の光・温熱環境に与える影響，日本建築学会北海道支部研究発表会，pp.297-300，2011，5) 高儀郁美・津野柚衣・宮崎智仁・齊藤雅也・細海加代子・檜山明子・大平雅雄・石田勝也・樋之津淳子・中村恵子：療養環境における入院患者の快・不快感に関する研究 その2. 病床照度と患者の明るさ感・快適感，日本建築学会北海道支部研究報告集No.91，pp.219-222，2018，6) 池上帆乃香・高儀郁美・齊藤雅也：寒冷地の病室における夏季の熱中症リスクに関する研究，日本建築学会大会学術講演会，pp.1121-1122，2021，7) Uexkull, Jacob von: Theoretische Biologie, 1928, 8) 日高敏隆：環境と環世界，本田財団レポート，No.111, 2005, 9) 齊藤雅也・片山めぐみ・伊藤哲夫・吉田淳一・吉野聖・酒井正幸：札幌市円山動物園・類人猿館改修デザイン，日本建築学会技術報告集15(29)，pp.207～210，2009，10) 齊藤雅也：クリマデザイン 新しい環境文化のかたち（クリマデザインと放射環境），pp.94-101，鹿島出版会，2016，11) 齊藤雅也・本田直也・塚本篤士：動物園と大学の協働による動物舎のデザインー札幌市円山動物園“は虫類・両生類館”を事例としてー，日本建築学会第41回熱シンポジウム予稿集，pp.91-96，2011，12) 齊藤雅也・塚本篤士・柳谷宰・岩本康治：札幌市円山動物園は虫類・両生類館，北海道建築作品発表会作品集，31，pp.20-21，2011。

*1 Professor, Sapporo City University, Dr. Eng.

*2 Animal Specialist, Sapporo Maruyama Zoo, M. Design