

## トカゲとシダの生態に基づくヒトの室内気候デザインの研究

正会員 ○本田 直也\*  
同 齊藤 雅也\*\*

室内気候 環世界 放射暖房  
屋内緑化 バイオフィリックデザイン 飼育環境

## 1. 研究背景・目的

ヒトは人生の大半の時間を室内空間で過ごす。夏季の冷房病や冬季の暖房時の皮膚・粘膜の乾燥による不快感など健康や美容に関する問題は全く解決されていない。建築物衛生法にある建築物環境衛生基準は、環境への適応性に優れたヒトを対象にしているが故の最低基準で、快適な室内気候を保証する条件ではない。筆者はあえてヒトよりも環境適応性が低く、複雑で不均一な物理環境条件を必要とするトカゲ・シダ類の生態に着目し、それらの主観的視点、環世界<sup>註1)</sup>から研究を進めてきた。

トカゲは外温性動物で、体温調整に日射を利用し、移動することによって快適性の維持と代謝によるエネルギー使用を抑えている。またその生態は生息地における季節性に依存するため、日・年単位で環境要素の変動を必要とする。一方、シダ類を含む亜熱帯性植物は、高い相対湿度や適切な光環境を要するので、室内における人工栽培が難しいとされる<sup>1)</sup>。

本研究の目的は、トカゲ・シダ類が健全な生育状態を維持する室内気候を明らかにし、得られた知見からヒトの室内気候デザインの条件を提示することで、その理由は、トカゲとシダが健全に生育できる室内気候デザインの形成過程と結果は、ヒトの室内気候調整の参考資料となり、より高度な快適性を実現する可能性があるからである。これまで室内にある植物がヒトに及ぼす生理・心理的影響に関する先行研究はあるが<sup>2)</sup>、動植物双方の生態の視点に基づく室内気候デザインに関する研究はない。

そこで本研究では、1) 飼育栽培実験により、環世界を踏まえたトカゲ・シダが必要とする室内気候と、2) 暖房方式の違いがシダの生育に与える影響を明らかにすることで目的の達成を試みた。

## 2. 研究方法

## 2.1 飼育栽培実験

本研究では、沖縄県産アオカナヘビ（学名：*Takydromus smaragdinus*）オス6頭・メス4頭と沖縄県に自生するシダ類（学名：*Pteris wallichiana*他）9種16株を用いた。表1のとおり、札幌市中央区にある木造住宅1階の実験室内に2台の飼育栽培ケージを設け、気象

表1 実験室・飼育栽培ケージ設備概要

●実験室	
・住所	札幌市中央区
・構造	木造・2階建の1階・表面FRP仕上げ
・床面積	2,700×3,680
・天井高	2,600
・暖房	温水放射パネル・床暖房（夏季再現時22℃、冬季再現時15℃設定）
・換気	熱交換型換気（排気28.5m <sup>3</sup> /h、給気27m <sup>3</sup> /h・三菱電機社製VL-10ES2-D）
●飼育栽培ケージ設備概要	
・材料	木製・前面ガラス・内壁3面炭化コルクボード(50mm厚)貼り
・照明	爬虫類用UV水銀灯（120W・PT2192）各1灯 UV蛍光灯（26W・PT2189）各1灯 植物用LED（20W・amateras-001）各2灯
・散水装置	FS-33000、散水栓各4箇所、1日3回各1分（5.6L/日）
・床材	軽石10mm粒（200厚）

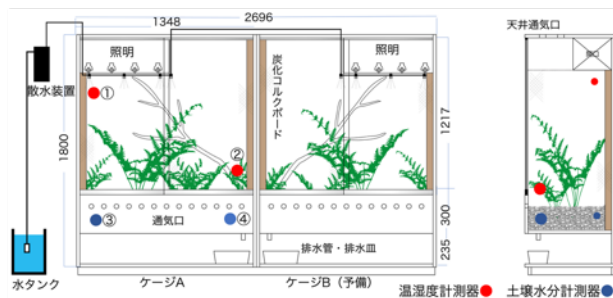


図1 飼育栽培ケージ設備概要

庁のAMeDASデータを参考に沖縄県北部の亜熱帯森林内気候を再現し、2020年10月よりアオカナヘビとシダ類を等分し、飼育・栽培を開始した。

図1は、飼育栽培ケージの立面図・断面図と測定機器の設置場所である。床材は保水性・排水性に配慮し、直径10mm程度の粒度の揃った軽石を約200厚さで敷いた。散水装置はケージ上方からの散水栓による降雨型で、1日3回（7:00, 13:00, 18:00）、各1分（1.2L/回・5.6L/日）作動させた。1日の排水量は約1.2Lで、残りの約3.4Lは植物の根と床材と壁面材に吸収される。ケージ下に溜まった水は夜間に1日1回捨てた。また表2に示すとおり、アオカナヘビが本来もつ正常な生態発現のために、暖房設定温度と照明時間の変動を管理し、生息地における夏季と冬季の季節性を再現する必要がある。そこで冬季再現期間は3～4月の2ヶ月間とし、実験室内の暖房設定温度を15℃とした。実測項目は空気温度・相対湿度・土壌水分量・照度・紫外線（UVA・UVB）、植物の育成の指標となる光合成有効光量子束密度（以下、PPFD）である。なお、2台の

ケージの1台は予備ケージとした。

## 2.2 暖房方式が植物に与える影響についての実験

暖冷房方式(対流式・放射式)の違いがヒトの生理・心理に与える影響に関する研究はこれまでも多くあるが、適応性の高いヒトではなく、より適応性の低いシダを用いることで、室内気候の質の違いを明確に示すことができると考えた。実験は、2021年4月27～28日かけての冬季再現期間中に、表3のとおり実験室内に設置したケージ内にて、鉢植え(9cmビニールポット)のホウライシダ(学名: *Adiantum raddianum*)を用い、対流式暖房と放射式暖房がそれぞれシダに与える影響について比較した。

図2は、実験ケージの立面図、断面図で設備と測定箇所の設置位置である。暖房はサーモスタットに連動し、28℃に設定した。温湿度と風速センサーは植物の上部付近に天井から吊って設置した。土壌水分センサーは鉢植え内の暖房機側と反対側に2ヶ所設置した。また暖房機を作動させ90分後にサーモカメラを用いて、シダとケージ内の表面温度分布を撮影した。

## 3. 結果

### 3.1 飼育栽培実験

図3と4は、夏季再現時(2020/12/24～2021/1/24)の、屋外・リビング(実験室とは別部屋)・実験室内・ケージ内(ケージA①・ケージA②)の空気温度、相対湿度の変動分布(左)と期間中のある1日(2021/1/1)の各場所の変動推移(右)である。期間中の屋外は真冬の気候であるが、ケージ内では夏の気候を人為的に再現した。

期間中の変動分布(左)での、UV水銀灯と散水栓の直下(ケージの上部)の「ケージA①」は、UV水銀灯の点灯と散水によって空気温度は20～34℃、相対湿度は48～98%に分布している。一方、UV水銀灯と散水栓から遠いケージ下部にある「ケージA②」は、空気温度は18～25℃、相対湿度は68～98%で、「ケージA①」よりも最高温度は9℃低く、最低湿度は20%高い。これはUV水銀灯の照射の影響が「ケージA①」より小さいためである。

実験室では、設定温度22℃に対して空気温度は18～24℃、相対湿度は40～68%に分布している。実験室内が高湿度に維持されている理由は、日中のUV水銀灯からの照射と3回の散水によってケージ内の水分蒸発とシダ類の蒸散作用が促され、ケージ外の実験室内に水蒸気が拡がったためと考えられる。屋外は真冬であるが、実験室の対照室(リビング)の20%前後に対して、実験室は高湿度な室内気候と言える。図5と6は、冬季再現時(2021/3/29～4/29)の空気温度、相対湿度の変動分布(左)と1日(2021/4/10)の変動推移(右)である。「ケージA①」の空気温度は14～22℃、相対湿度は62～95%、「ケージA②」の空気温度は13～19℃、相対湿度は79～98%に分

表2 照明の光周期

夏季	照明	点灯	消灯	照射時間
20W	植物用LED	6:30	19:00	12h30
20W	植物用LED	6:45	18:00	11h15
25W	UV蛍光灯	7:00	16:30	9h30
120W	UV水銀灯	8:00	16:30	8h30
冬季	照明	点灯	消灯	照射時間
20W	植物用LED	7:30	17:00	9h30
20W	植物用LED	8:30	16:00	7h30
25W	UV蛍光灯	9:00	15:30	6h30
120W	UV水銀灯		終日消灯	

表3 実験ケージ(対流式・放射式)の概要

- ケージの仕様・大きさ
  - ・木製・前面ガラス(幅1500x奥行700x高さ600)
- 暖房方式
  - ・温風暖房 フカダック FH-120R 200W ファン2.6W
  - ・放射暖房 海野製作所 W-2000 200W
- 植物種
  - ・コバホウライシダ (*Adiantum raddianum*)

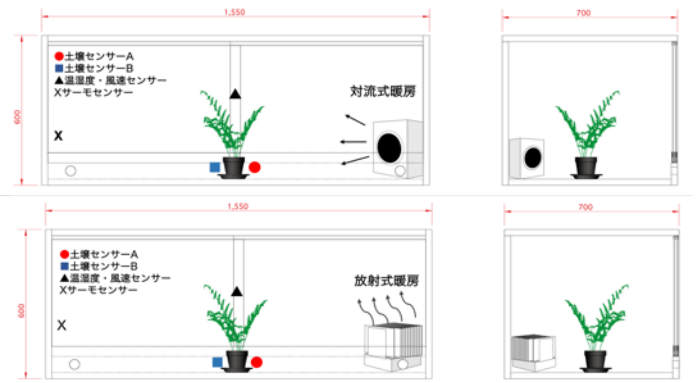


図2 実験ケージ(対流式・放射式)の測定項目と配置

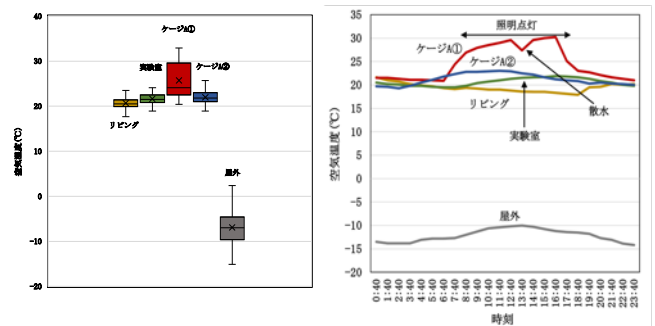


図3 夏季再現時における空気温度の推移

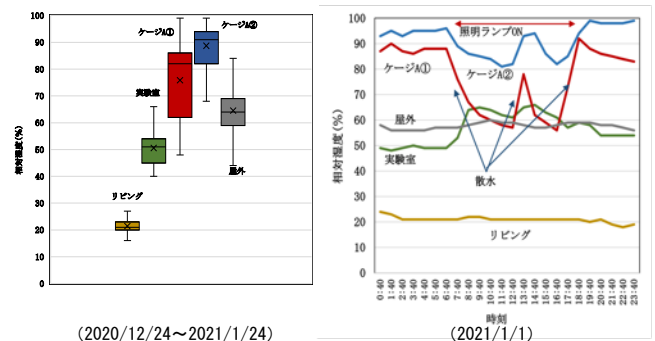


図4 夏季再現時における相対湿度の推移

\*札幌市円山動物園 動物専門員・修士  
\*\*札幌市立大学デザイン学部 教授・博士

\*Animal Specialist, Sapporo City Maruyama Zoo, M.Design.  
\*\*Professor, Sapporo City University, Dr.Eng.

布している。

冬季は、実験室の設定温度が15℃で、UV水銀灯を点灯していないため、空気温度と相対湿度の変動幅は夏季に比べて小さい。一方、実験室は空気温度13~23℃、相対湿度24~60%である。散水装置は作動しているが、水分が実験室内に拡散しない理由は、UV水銀灯の停止によってケージ内土壌の水分蒸発と植物の蒸散が抑えられたためと考えられる。

表4は、ケージ内の照度・UV・PPFDの測定結果である。照明下20, 60, 100cmの各ゾーンをそれぞれ約30cm四方の8ブロックに分け中心を測定した。上段では水平面の数値でそれぞれ勾配が大きい。照明位置から離れることで、照射角度が広がり、測定値の差が小さくなる。

### 3.2 暖房方式が植物に与える影響についての実験

図7は対流式暖房（左）と放射式暖房（右）の空気温度と相対湿度の推移である。対流式は、開始時の16℃から30分後に28℃、45分後には30℃に達した。60分後からは、サーモスタットの作動が繰り返され、30~32℃で規則的な変動が見られる。90分後のサーモカメラの撮影では、葉の表面温度は、開始時の13.5℃から33.5℃に上昇した。急激な温度上昇に伴い、相対湿度も57%から45分後には20%まで低下し、60分後以降は20%台で維持された。

放射式暖房（右）では、温度上昇は緩やかで、28℃に達するまで105分かかり、120分後も30℃には達しなかった。90分後のサーモカメラの熱画像では、葉の表面温度が15℃で開始時より1.5℃上昇した。相対湿度の低下は緩やかで、開始時の57%から120分後も30%以上である。

図8は鉢植え内の土壌水分量の推移である。ここでは、実際の水分量ではなく、減少速度（=傾き）に着目する。対流式暖房の傾きは放射式暖房より大きい。放射式は対流式よりも緩やかな蒸発になると言える。

図9は、実験から12時間後のシダの様子である。左は対流式暖房で、葉の表面が乾燥し、やや萎れてきている。放射式暖房では実験開始と比較して、状態変化は見られず、対流式よりも健康な状態と言える。

## 4. まとめ

### 4.1 飼育栽培実験

本実験で対象とした10頭のアオカナヘビは健康に生育し、表5のとおり継続した産卵が観察され、2021年6月末日までに54頭が孵化している。産卵された卵は採取せず、自然孵化とし、ケージ内にて完全養殖が実現された。冬季再現期間中である3~4月は、低温曝露によりトカゲの活動を人為的に停止させ、野外における冬眠を再現した。

シダ類は、散水による雨が当たらず一部に枯死が見られたが、ほとんどのシダは順調に生育したことから、生

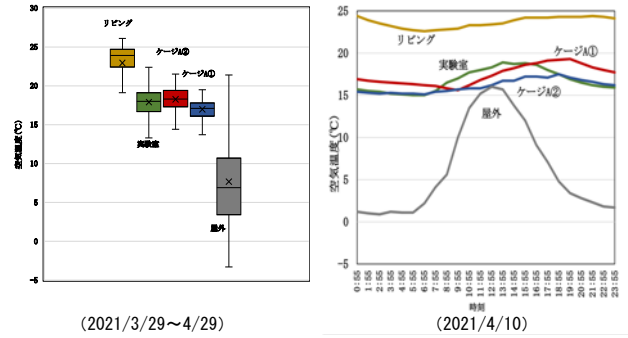


図5 冬季再現時における空気温度の推移

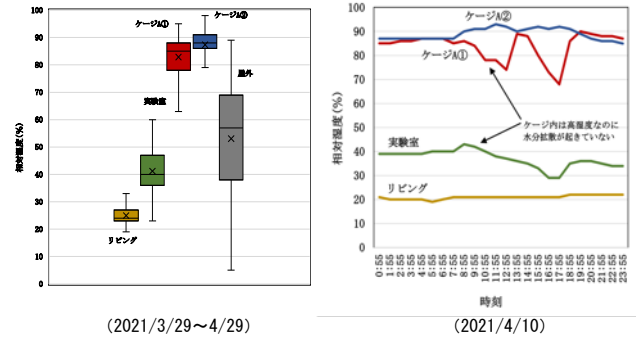


図6 冬季再現時における相対湿度の推移

表4 ケージ内における照度・UV・PPFDの実測値

	照度(lx)	紫外線(μW/cm2)	PPFD(μmol/m² s⁻¹)
上段(照明下20cm)	22.4~51400	0.00~1.582	1.0~1037
中段(照明下60cm)	49.5~27500	0.00~0.317	6.3~509
下段(照明下100cm)	508~6730	0.00~0.017	8.3~109.9

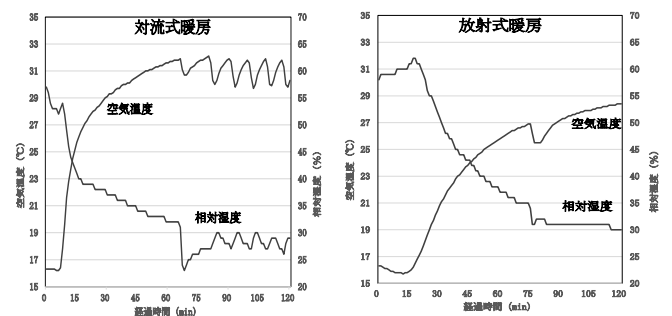


図7 対流式と放射式の空気温度・相対湿度の比較

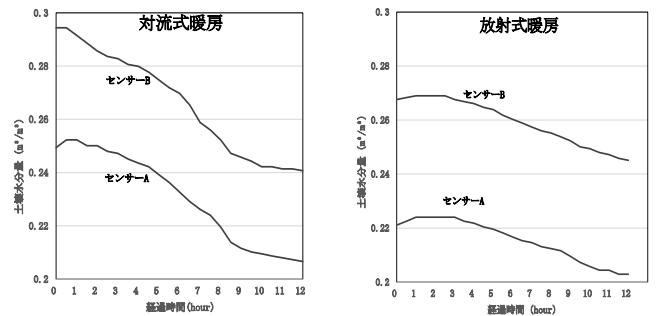


図8 対流式と放射式の土壌水分量の減少度の比較



息地（沖縄県本島）に近い、ケージ内気候を構成する空気温度・相対湿度・散水量・照度・UV・PPFDの変動や勾配が適切に再現できたと評価できる（図10）。

#### 4.2 暖房方式が植物に与える影響に関する実験

本実験の結果から、対流式暖房では、急激な温度上昇と温風により、シダに対する非生物的ストレス<sup>註2)</sup>があったことが確認できた。放射式暖房では、緩やかな温湿度変化で、強制的な温風もないことから、シダへの非生物的ストレスは見受けられなかった。これにより、放射式暖房は生物にとってより健康的な暖房方式と言える。

### 5. ヒトの室内気候デザインへの展開

#### 5.1 加湿器に代わるデバイス機能

トカゲ・シダ類の健全な生育状態を維持するためには、不均一な環境要素の振る舞いの中にも、人工的に再現した季節特有の空間的・時間的な変動パターンがあることが確認できた。また特に飼育栽培ケージの活用により、冬季の乾燥した室内に対して加湿効果があることがわかった。散水頻度や熱源ランプの照射時間の調整によってケージ内の水分蒸発や植物の蒸散を促し、適切な湿度維持ができる。バイオフィリックデザイン<sup>3)</sup>の観点からも、加湿器に変わる新たな加湿デバイスとしての飼育ケージを提案することができる。

#### 5.2 ヒトの室内気候デザインのための曼荼羅チャート

図11は、トカゲとシダの生態に基づいたヒトの室内気候デザインにおける環境要素の位置付けを示した曼荼羅チャートである。それぞれ単独で機能するのではなく、複数の要素が関連し合い1つの室内気候を形成することを表している。ヒトの室内気候デザインにおいては、植物が生育できる「人工的な自然環境」を導入し、住まい手それぞれの主観に寄り添った環境要素の組み合わせが、より高度な快適性をもたらすと考えられる。本チャートは、トカゲ・シダの生態に基づくヒトの室内気候デザインを実現するための「指標」になり得ると考える。

註1) 環世界：生物学者ユクスケルが提唱した、全ての生物は自らが持つ知覚機能において独自の世界を主体的に構築しているという概念。

註2) 非生物的ストレス：植物にとって好ましくない外的要因で、低温や乾燥などの環境ストレスを指す。

#### 参考文献

- 1) 小島倫直,佐久間謙：室内緑化植物個体の炭素収支評価関する検討,日本緑化工学会誌, 44巻1号, pp. 229-232, 2018.
- 2) 長谷川祥子, 下村孝：室内の植物が人間の心身に及ぼす影響に関する研究の現状と今後の課題, 日本緑化工学会誌 39 巻 4 号, pp. 552-560, 2013.
- 3) Bill Browning・Cary Cooper：The global Impact of Biophilic Design in the Workplace, 2015.



図9 実験後12時間後のシダの状態  
対流式暖房（左）放射式暖房（右）

表5 アオカナヘビの産卵・孵化数

	ケージA	ケージB	孵化数
2020年11月	4	4	0
2020年12月	11	13	6
2021年1月	7	3	15
2021年2月	16	15	10
2021年3月	4	2	2 (冬季再現期間)
2021年4月	0	0	0 (冬季再現期間)
2021年5月	8	12	9
2021年6月	12	16	12
合計	51	65	54



図10 アオカナヘビとシダ類の成長

外気利用	エアコン	放射式暖房	湿度勾配	ホットスポット	放射式暖房	季節性変動	放射式暖房	散水装置
断熱性気密性	風	ドラフト	熱源人工灯	暖	断熱性気密性	湿度勾配	水	排水
COVID19	自然対流	バンプ換気	水分蒸発	自然光	季節性変動	水分蒸発	土壌保水	植物蒸散
経験	知覚器官	知識	風	暖	水	季節性変動	UV利用 ビタミンD	照度 色温度 勾配
主観	環世界	客観	環世界	室内気候デザイン	光	曜日・周年リズム	光	PPFD
知覚世界	作用器官	作用世界	土壌	植物	冷	自然光人工灯	植物	遮蔽
排水性 透気性	保水性 保肥性	好気性 バクテリア	通気	バイオフィリア	蒸散作用	断熱性 気密性	外気利用	クール スポット
湿度管理	土壌	粒度	放射式暖房	植物	PPFD	食糧保存	冷	季節性 変動
重量	植物	水分蒸発	土壌蒸発	インテリア	散水装置	代謝管理	温湿度勾配	曜日・周年 リズム

図11 トカゲとシダの生態に基づき導き出された曼荼羅チャート

\*札幌市円山動物園 動物専門員・修士  
\*\*札幌市立大学デザイン学部 教授・博士

\*Animal Specialist, Sapporo City Maruyama Zoo, M.Design.  
\*\*Professor, Sapporo City University, Dr.Eng.