

69

札幌市円山動物園「オランウータンと ボルネオの森」の冬季の熱環境と動物行動

会員 ○ 斉藤 雅也 (札幌市立大学)
本田 直也 (札幌市立大学)
松本 渉 (大建設計)

小野 日大 (札幌市立大学)
大野 宏之 (札幌市円山動物園)
鈴鹿 新平 (札幌市)

Thermal Environment and Animal Behavior in Winter
at 'Orangutans and the Forests of Borneo' in Sapporo Maruyama Zoo

Masaya SAITO*, Haruto ONO*, Naoya HONDA*,
Hiroyuki OHNO**, Wataru MATSUMOTO***,
and Shinpei SUZUKA****

* Sapporo City University
1 Geijutsu-no-mori, Minami-ku, Sapporo, Hokkaido, 005-0864,
JAPAN

Tel: +81-11-592-2631, E-mail: msaito@scu.ac.jp

** Sapporo Maruyama Zoo, ** Daiken Sekkei, **** Sapporo City

ABSTRACT

This study measured the indoor thermal environment during winter at the “Orangutans and the Forests of Borneo” exhibit in Sapporo Maruyama Zoo and examined the validity of its environmental design in supporting comfort and behavioral stability from the perspective of animal welfare. Through radiant heating and displacement ventilation, the space maintained a temperature of 22–23°C and a relative humidity of approximately 60%. These environmental conditions closely matched the results of CFD analysis, and natural behaviors such as feeding, resting, and playing were observed.

キーワード：動物園，オランウータン，熱環境

Keywords: Zoo, Orangutan, Thermal environment

1. はじめに

札幌は寒冷地であり、本来は熱帯雨林の気候下で暮らすオランウータンにとって、その環境は本来の生息地とは大きく異なる。そのため、屋内飼育環境においては、動物福祉¹⁾の観点から適切な熱環境を維持することが強く求められている。本研究は、札幌市円山動物園の動物舎「オランウータンとボルネオの森」における冬季の室内気候について、CFD解析の結果²⁾を踏まえつつ、実際の熱環境の形成状況を明らかにするとともに、その環境下でオランウータンに野生下に近い行動が引き出されているかを検証することを目的とする。

2. 施設概要

札幌市円山動物園に2025年5月に新設された「オランウータンとボルネオの森」は、ボルネオオランウ



Fig. 1 Indoor viewing area (left) and Enclosure A (right)

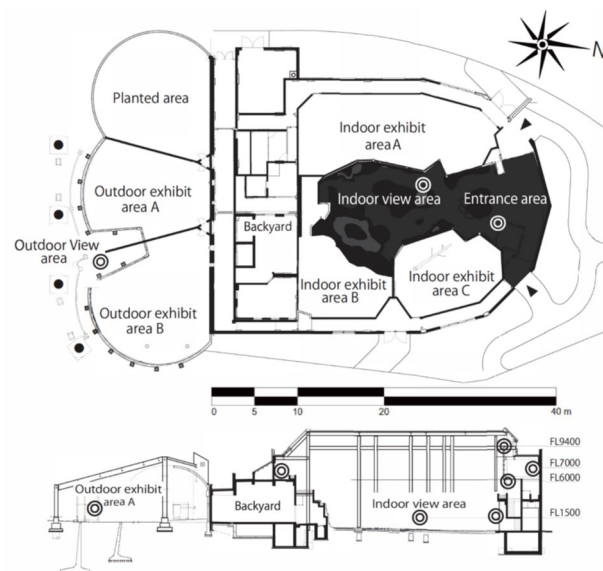


Fig. 2 Sensor positions (◎) in the facility of “Orangutans and the Forest of Borneo” at Sapporo Maruyama Zoo

ータンの樹上移動や採食など、野生下に近い行動を促すことを目的とした展示施設である。既存の屋外放飼場(南側)を活用し、北側に屋内施設を新設した(Fig.1, 2)。施設の延床面積は約 1,300 m²、そのうち屋内放飼場は3面(約 400 m²)で構成される。天井高さは最大で 12m あり、オランウータンが主に活動する空間は高さ 8m に設定さ

れている。現在、館内には、父（1997 年釧路生まれ）、母（1999 年頃ボルネオ生まれ）、子（2020 年札幌生まれ）の 3 頭が飼育されており、父親・母子に分けて展示・管理されている。

建築には 100mm 厚の RC 造外断熱工法を採用しており、寒冷地における熱損失の抑制と室内熱環境の安定化を図っている。設備面では、外周部に温水放射パネルおよび温水柱暖房を設置し、置換換気を導入することで室内の快適性を確保している。さらに、床下には地中熱を利用したヒートチューブを設け、熱環境の制御を行っている。

また、採光に関しては、天窗による昼光に加え、京セラ製の自然光 LED ランプ（CERAPHIC）を導入することで、冬季の自然光不足を補っている。館内中心部の観覧場には、熱帯植物、滝、水径、池、擬木、擬藁などを配置し、熱帯雨林の景観と生態系の再現を試みている。さらに、1 日 3～4 回の散水を行うスコール装置を備え、館内の湿度と植栽環境の維持を図るとともに、来園者に対して熱帯環境への理解促進を目指している。

3. 研究方法

本研究では、以下の方法により調査を実施した。まず、展示施設内の熱環境について、2025 年 1 月 20 日から同年 3 月 20 日にかけて、Fig.2 中に示す◎の観測点で空気温度・相対湿度を連続計測・記録した。測定には空気温湿度（T&D：RTR-53）、小型グローブ温度（黒色ピンポン玉をセンサー部に取り付け、T&D：TR-51i）を用い、適宜、赤外線放射カメラ（FLIR：C5）で室内周壁面などを撮影した。暖房および置換換気の稼働状況も併せて記録した。また、本施設の設計時に実施した CFD 解析の結果¹⁾と、実測された熱環境データとの比較を行い、設計の妥当性と実環境との整合性を検証した。

動物の行動観察は、2025 年 2 月 8～9 日の 15:00-16:00、オランウータンの母子を対象に室内放飼場における居場所のほか、採食・休息・遊戯・移動の主要な行動を記録した。行動のデータは観察者による直接観察・記録により取得し、行動の種類・割合を定量的に分析した。

4. 結果と考察

1) 室内の熱環境

Fig.3 から Fig.6 に、2025 年 2 月 10 日～3 月 20 日までの期間における室内外の空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度の経時変化をそれぞれ示す。

外気温は、夜間の -8°C （最低）から日中の 9°C （最高）の範囲で変動していたのに対して、室内の空気温度・グローブ温度は、エントランス部（FL1500）の一ヶ所を除くと、測定点の高さ、方位にかかわらず、概ね $22\sim 23^{\circ}\text{C}$

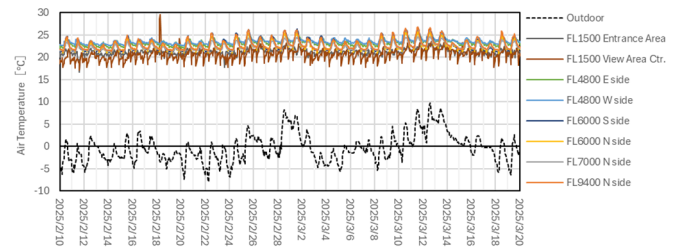


Fig. 3 Variation of outdoor and indoor temperatures

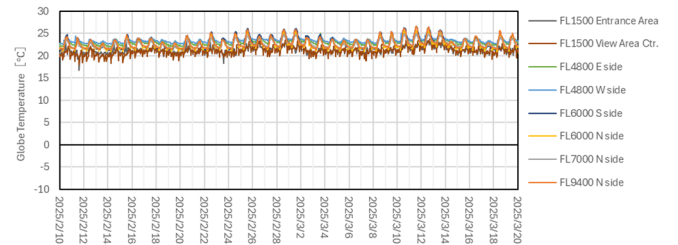


Fig. 4 Variation of indoor globe temperatures

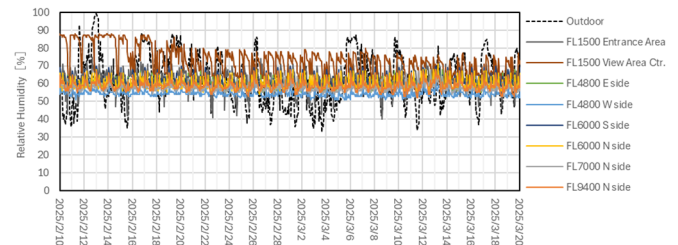


Fig. 5 Variation of outdoor and indoor relative humidity (RH)

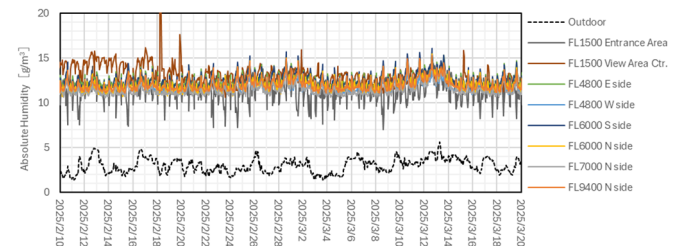


Fig. 6 Variation of outdoor and indoor absolute humidity (AH)

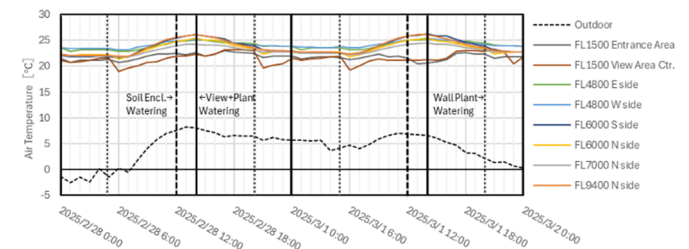


Fig. 7 Variation in temperature from February 28 to March 2

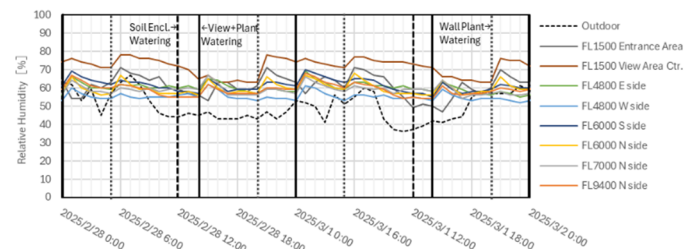


Fig. 8 RH variation between February 28 and March 2

の範囲で安定して推移していた。室内のグローブ温度の範囲が空気温度の範囲と概ね同じなので、平均放射温度（表面温度）も概ね $20\sim 23^{\circ}\text{C}$ の範囲に入っていると言え

る。これは既報1)で述べたCFD解析(100mm外断熱)による予測と一致しており、設計時のシミュレーションが実際の熱環境に適合していたことを示している。

また、相対湿度はどの測定点においても平均で概ね60%前後、最大で80~90%に達している。また、絶対湿度もどの測定点においても概ね12~13g/m³で推移している。

一般に、住宅などで暖房と換気を同時に行う室内では、室温20℃を超えると、相対湿度が30%を下回ることが多いが、本施設内では60%を維持しており、湿潤な状態である。これは、一日3回の散水によって水分が空気中に拡散されていることが主な要因である。特に、FL1500の観覧場中央部では、一時的に20℃を下回る時間帯が確認されたが、これは館内全体にスコールを模した散水を行った直後に温度が低下したためである。

Fig.7とFig.8に、2月28日~3月2日(2日間)の空気温度と相対湿度の変化と、土壌散水(正午)・観覧場と植栽散水(0:00, 14:00)・壁面植栽(6:00, 18:00)の関係を示す。Fig.8より、散水後に相対湿度の上昇が確認されるほか、Fig.7より、観覧場中央の測定点では、空気温度が散水によって約2℃温度が低下している。

Fig.9は、観覧場全体への散水直後(14:00)に撮影した熱画像であるが、観覧場の床面のウッドチップに吸収された水によって床面温度が2~3℃ほど一時的に低くなっている。これが観覧場中央(FL1500)の気温にも表れていると考えられる。床面温度、観覧場の気温が一時的に下がるが、Fig.7より、2~3時間後には他の測定地点と同程度の22~23℃に回復する。これはこの建物が外断熱工法を採用し、高い断熱性・蓄熱性が効いていると考えられる。

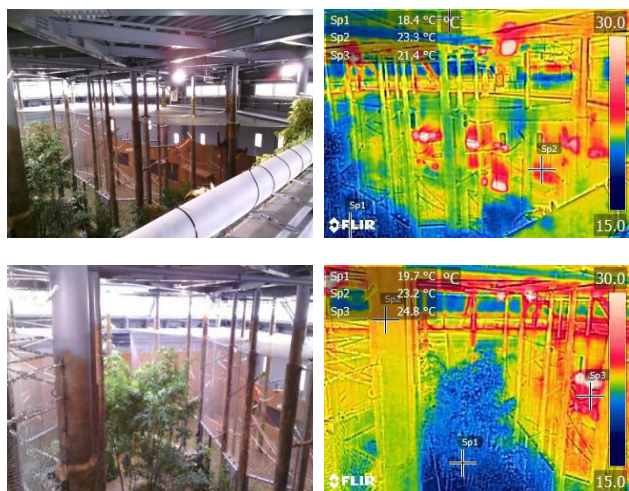


Fig. 9 Thermal images of the entire viewing area immediately after watering on March 20, 2025

2) 動物の居場所と行動

オランウータン母子は、冬季は終日に渡って屋内放飼

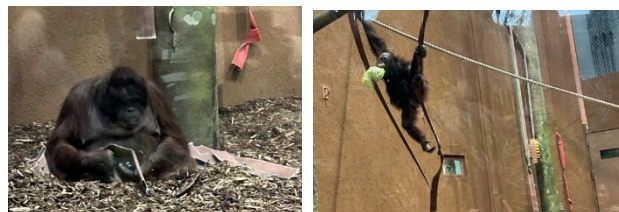


Fig. 9 Behavioral observations of a mother-infant orangutan pair (left: mother orangutan, right: infant orangutan)

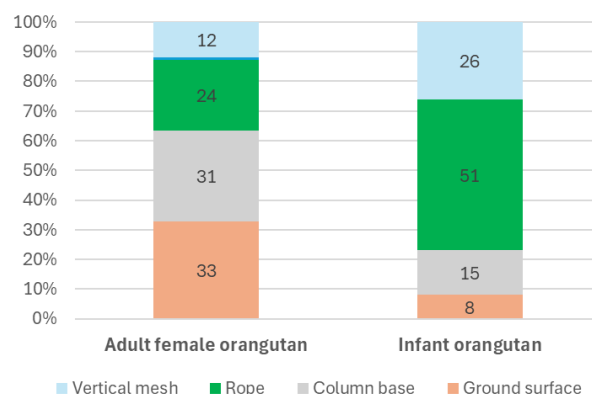


Fig. 10 Location types and their usage proportions in a mother and infant orangutan

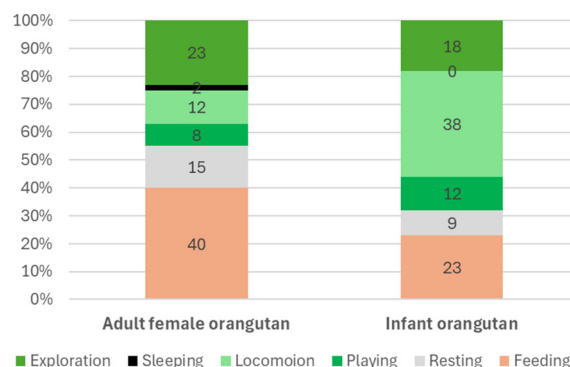


Fig. 11 Types and proportions of behaviors observed in a mother-infant orangutan pair

場で過ごす。その行動の種類は採食・遊戯・休息・移動など多岐にわたる(Fig.9)。それぞれの居場所と行動の種類についてFig.10とFig.11に観察した結果を示す。

Fig.9より、母はウッドチップが敷き詰められた床面で探索・採食・遊戯をする時間が33%を占める。オランウータンは通常、樹上で暮らす動物なので約7割の大半は柱台(31%)・ロープ(24%)・縦張ネット(12%)で過ごしていたが、床面での探索が23%、採食が18%を占めていた。一方、子は母が床面に長くいたのに対して8%しかおらず、大半の時間はロープ(51%)・縦張ネット(26%)などを使った探索、遊戯、移動が占め、観察時間中に睡眠はなかった。子は母よりも移動を伴う探索行動が多い傾向にあった。

先行研究3)によれば、野生下のスマトラオランウータンにおいて幼少個体は新奇刺激への探索傾向が強く、

母親や仲間の存在がその行動を促進することが示されている。本施設のボルネオオランウータンにおいても類似的な行動が確認されており、種の違いはあるものの、野生下の行動が再現され、良好な飼育環境が提供されていることが示唆された。

3) 動物と観覧者のエクセルギー消費速度 (BEX)

放飼場内部にいるオランウータンと観覧者の身体内部でのエクセルギー消費速度 (BEX) と SET* を算出し、屋内放飼場の室内気候の質を評価した。BEX は体温調整や代謝に伴う身体内部の実質的負荷を示す指標で、値が小さいほどその環境が快適であると考えられる⁴⁾。

BEX の算出にあたり、外気温湿度 (0°C, 50%) の屋外に対して、室温湿度 (22°C, 65%)・平均放射温度 (22°C)、室内風速 (0.1m/s) の室内にいる母子オランウータンと観覧者を想定した。母子オランウータンの基礎代謝は、クレバーの法則を用いて現在の体重からそれぞれ推定した。なお、観覧者の着衣量 1.5clo (冬)、代謝量 2.0Met (軽歩行)、母オランウータンの着衣量 1.0clo (体毛あり)、代謝量 1.0Met (安静)、子オランウータンの着衣量 0.8clo (体毛あり)、代謝量 1.1Met (運動) を想定した。Fig.12 に計算結果を示す。

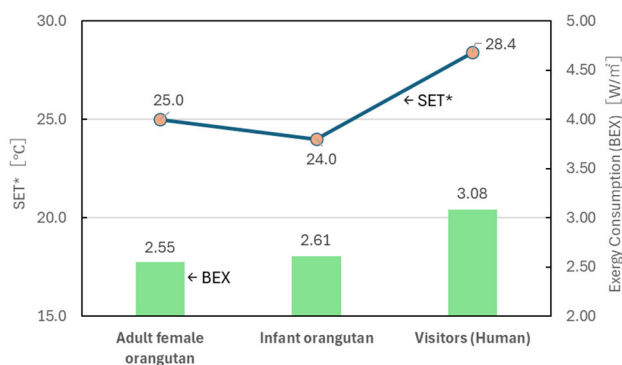


Fig. 12 Body exergy consumption rate (BEX) and SET* of the mother-infant orangutans and visitors

母オランウータンの BEX が 2.55W/m²、子オランウータンは 2.61W/m² でほぼ同等である。また、SET* も母が 25.0°C、子が 24.0°C と僅差である。一方、観覧者の BEX は 3.08W/m²、SET* は 28.4°C であり、母子オランウータンに比べて BEX は約 1.2 倍、SET* は約 4.5°C 高い。これは、観覧者の冬季用の着衣で軽歩行によって代謝が高まっている影響と考えられる。

Fig.13 と 14 は、平均放射温度 (MRT) が 10~34°C、相対湿度 (RH) が 10~100% の範囲にある条件下 (その他の計算条件は前述と同一) における、母子オランウータンと観覧者の BEX を示している。BEX が最小となる条件は MRT が約 26°C かつ RH が高いほど望ましいことが示唆されるが、MRT を 26°C に維持するためには暖房

負荷を要する。一方、散水により RH を 60~75% に調整することで、MRT が 26°C の条件下における BEX と同等の快適性が得られることがわかる。すなわち、湿度の制御によって暖房負荷を抑えつつ、同等の熱環境を実現可能である。本施設の室内気候は、母子オランウータンおよび観覧者に対して、周壁からの適度な温放射と湿潤な空気環境を提供することにより、BEX を低く保ち、快適な熱環境を形成していると評価できる。

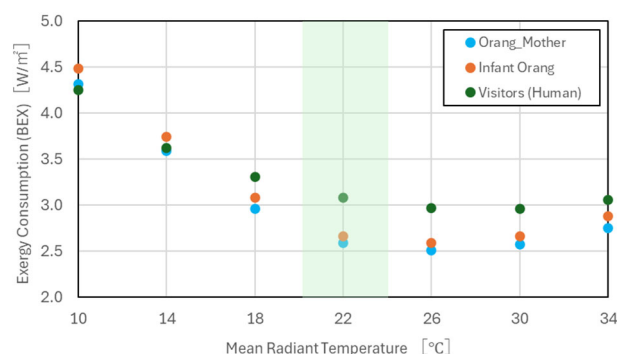


Fig. 13 Effect of MRT on body exergy consumption rate (BEX) of the mother-infant orangutans and visitors

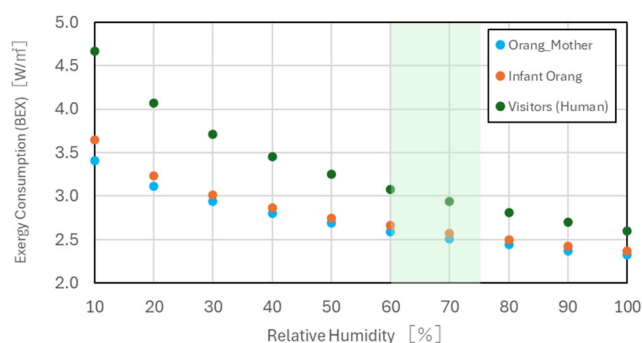


Fig. 14 Effect of RH on body exergy consumption rate (BEX) of the mother-infant orangutans and visitors

参考文献

- 1) 新村毅 編：[増補版] 動物福祉学, 昭和堂, 2024.9.
- 2) 斉藤雅也・本田直也・鈴鹿新平・松本渉：札幌市円山動物園「オランウータンとボルネオの森」の室内気候デザイン, 日本太陽エネルギー学会 2024 年度研究発表会, pp.347-350, 2024.11.
https://doi.org/10.24632/jsesc.2024.0_347
- 3) Caroline Schuppli, Lara Nellissen, Luz Carvajal, Alison M. Ashbury, Natalie Oliver-Caldwel, Tri Rahmaeti, Isabelle Laumer and Daniel Haun: Ecological, social, and intrinsic factors affecting wild orangutans' curiosity, assessed using a field experiment, Scientific Reports (Nature), 2023.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-39214-2.pdf>
- 4) 斉藤雅也・篠原利光・宿谷昌則：日本建築学会計画系論文集 第 65 巻 第 534 号, pp. 17-23, 2000.
https://doi.org/10.3130/aiaa.65.17_5