

# ペット用熱中症予防システムの開発

研究代表者 金 帝 演 鶴岡工業高等専門学校 創造工学科情報コース 准教授  
共同研究者 間 邊 哲 也 埼玉大学大学院理工学研究科 数理電子情報部門 助教

## 1 まえがき

近年、地球温暖化による熱中症事故の増加が日本の社会課題となっており、効果的な熱中症予防策が求められている。また、熱中症による事故は人のみならずペットにも起こりうる問題であり、アニコム損害保険株式会社が令和5年に自社の保険に加入している犬猫を対象に行った”熱中症の月別診療件数”では、1年間で約2000匹の犬猫が熱中症で診察を受けている。このことからペットも人同様に熱中症の被害を受けていることが分かる[1]。

また、日本ペットフード協会は令和5年に全国の20代から70代を含む5万人を対象に”犬猫の飼育実態調査”を行っている。その調査によれば、現在、何らかのペットを飼育していると回答した人の割合は全体の26.5%であり、その中の約4割が犬を飼育していると回答している[2]。全ペット中で犬の飼育割合が最も高く、犬に対する熱中症予防の需要が最も高いと推察される。そこで、本稿では犬の熱中症予防について着目する。

犬の熱中症発生場所として、家(屋内)、散歩中(屋外)など様々な場面が想定される。アニコム損害保険株式会社の調査では、熱中症発生は屋外で散歩中に発生する場合が最も多く、全体の半分以上であることが報告されている[1]。これは散歩中に直射日光や路面の輻射熱などにさらされることにより、体温が上昇するためであると考えられる。また、散歩中の場合は家にいる場合に比べて熱中症に対する応急処置が遅れることも懸念される。これらのことから散歩中はより効果的な熱中症予防が求められる。

しかしながら、犬の熱中症予防に関しては人用に比べて検討が不十分であり、情報が乏しいのが現状である。呼吸の荒さ、目の充血などから犬の体温上昇を推察することは可能であるが、経験値に基づく指標であり、客観的な判断ができないことが問題である。より効果的な熱中症予防を行うには客観的な指標の検討が不可欠である。

一方、犬の熱中症においては路面温度を考慮する必要がある。先行研究によると夏季における舗装された路面は直射日光の影響を受け、60℃程度まで温度が上昇すると報告されている[3][4]。犬は人間に比べて路面に近く、路面からの輻射熱の影響を大きく受ける。そのため犬の熱中症予防を行う場合は路面温度の影響を考慮し、適切な情報を提供する必要がある。

上記のことから、ペットの熱中症予防のためにはペットのいるその場所の気象情報、生体情報、運動強度を考慮する必要がある。また、いつどのぐらい散歩すれば良いかについてユーザーに提供する必要がある。本研究ではペット用熱中症予防システムの開発を行う。具体的には、首輪型計測デバイスを製作し、ユーザーへの散歩可能時間を提供するためのアプリケーションの開発を行う。

## 2 従来研究

散歩中に熱中症予防を行う場合、犬は人に比べて路面に近く、路面温度の影響を受けやすい。また、客観的な指標として、どの程度散歩可能であるかを飼い主に提示する必要がある。これらのことより路面温度の考慮、散歩可能時間の提示、この2つを満たしたシステムが必要である。従来研究についてこれらの観点から述べる。

文献[5]はペットの健康管理補助を目的とした首輪型デバイスである。犬に装着することで、犬の生体情報をスマホでモニタリングすることが可能であり、アラート機能を使用すれば、ペットの異常にいち早く気づくことができる。このことから、文献[5]は散歩中の熱中症判別にも利用可能であるといえる。しかし、散歩可能時間、路面温度に関する考慮が不十分である。

文献[6]では、作業犬の状態を監視し、作業の効率性及び安全性を高めることを目的としている。ここで、作業犬とは麻薬探知、災害救助などを行うために専門の訓練を受けた犬のことを指す。

各種センサーや追尾型のドローンを使用することで、犬の生体情報や行動、環境情報などより詳細な犬の

状態を把握することが可能である。犬に装着されたセンサーによって路面温度を取得することも可能である。ただし、このシステムは作業犬用に使用することを想定しており、一般のペットに使用するには適さない。また散歩可能時間の考慮が不十分である。

文献[7]では、犬の散歩における熱中症リスク低減を目的として各時間の散歩の危険度が提供されている。各観測地点の気象情報を基に路面温度の予測を行い、その値より散歩に適した時間帯を Web 上で公開している。飼い主は自宅に最も近い観測地点を選択し、1 時間ごとの散歩における危険度を 5 段階で知ることができる。事前に路面温度が低い時間帯を知ることができ、熱中症の予防効果が期待できる。しかし、路面温度は予測値であり、散歩中における散歩可能時間の考慮が不十分である。

本研究では、ペットの熱中症予防のためにペットのいるその場所の気象情報を考慮した散歩可能時間をユーザーに提示するシステムを検討する。

### 3 犬用熱中症予防システム

#### 3-1 システムの概要

本システムは、装着された首輪型計測デバイスから気象情報（温度・湿度など）、生体情報（心拍数、皮膚温度など）、IMU（Inertial Measurement Unit）センサーデータを取得し、これらの情報を基に犬熱モデル（CTM; Canine Thermal Model）[3]を用いて深部体温を予測し、散歩可能時間を算出し、ユーザーへ提示するものである（図 1）。本システムは「首輪型計測デバイス」と「ユーザー用アプリケーション」で構成される。

本研究では、首輪型計測デバイスにおけるマイコンと気象センサーの選別、生体情報センサーの検討、そして、スマートフォンとスマートウォッチに散歩可能時間の提示を行う。

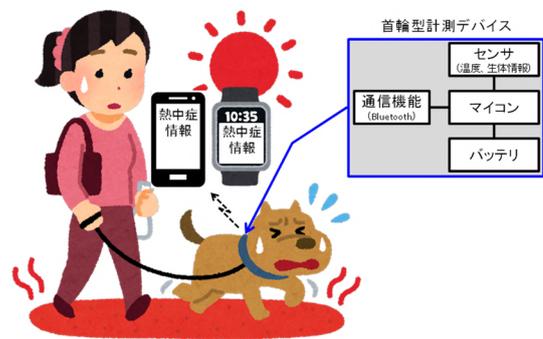


図 1 本システムの概要

#### 3-2 犬熱モデル（Canine Thermal Model）

CTM は熱力学第二法則と熱バランス方程式に基づいている。以下の式(1)に取得熱と熱損失のバランス関数の簡略化された式を示す。

$$S = M \pm W \pm R \pm C \pm K - E [W/m^2] \dots (1)$$

ここで、 $S$ :蓄熱量、 $M$ :代謝による熱生産、 $W$ :運動強度、 $R$ :放射による熱移動、 $C$ :対流による熱移動、 $K$ :伝導による熱移動、 $E$ :蒸発による熱損失である。 $S$ が0の場合、深部体温は一定であり、プラスの場合は深部体温が上昇し、マイナスの場合は深部体温が低下する。

深部体温を利用した散歩可能時間の算出について述べる。深部体温の予測値( $TTCR_{t+1}$ )は、現時点の深部体温( $TTCR_1$ )、深部のエネルギーの貯蔵量( $HSCR$ )、深部における熱容量( $TTCR$ )、体表面積( $BSA$ )、刻み時間( $DTM$ )によって求めることができる。以下に深部体温の予測値( $TTCR_{t+1}$ )の算出式(2)を示す。

$$TTCR_{t+1} = TTCR_1 + HSCR \cdot \frac{BSA}{TCCR} \cdot \frac{DTM}{60} [^\circ C] \dots (2)$$

ここで、深部における熱容量( $TCCR$ )は体温1度ごとに体幹に貯蔵可能な熱量であり、体幹の比熱と体幹の質量にそれぞれ比例する。深部のエネルギー貯蔵量( $HSCR$ )は深部に残る熱量であり、代謝量から皮膚への熱損失、呼吸による熱損失を引くことで求められる。深部体温の初期値( $TTCR_1$ )は38.3℃とする。

これらより求めた深部体温の予測値が閾値を超えるまでのステップ数(すなわち、単位時間の数)が散歩可能時間である。

#### 3-3 首輪型測定デバイスと情報提示用アプリケーション

犬の首輪に装着でき、周囲の気象情報(温度・湿度など)、犬の生体情報(皮膚温度、心拍数など)、犬の運

動強度を測定し、スマートフォンに送信する機能を持つ計測デバイスが必要である。本研究では、気象情報(温度・湿度)のみを測定し、スマートフォンに送信する計測デバイスを作製する。

図2に首輪型計測デバイスの構成を示す。計測デバイスには気象センサー、通信機能付きマイコンで構成され、計測したデータをスマートフォンに送信する。そして、計測デバイスの筐体部分は3Dプリンターを使用し、内部にマイコン、気象センサー、バッテリーを格納する。表1は本研究で利用した部品の仕様を示す。

情報提示用アプリケーションについて述べる。情報提示用アプリケーションは計測デバイスから送られた情報を受信し、CMTモデルに基づいた散歩可能時間を算出し、情報提示を行い、スマートフォンとスマートウォッチにその情報を提示する。表2は本研究で利用したスマートフォンとスマートウォッチの仕様を示す。

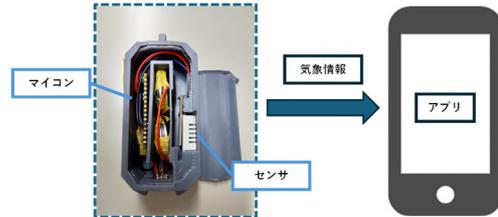


図2 首輪型計測デバイス

表1 使用部品の仕様

センサー	DHT22
マイコン	Arduino Nano 33 BLE Sense
電源	ボタン電池 3V×4(Total:2V)

表2 情報提示用デバイス

スマートフォン	Galaxy Note9
スマートウォッチ	Galaxy Watch4 Classi

### 3 性能評価

#### 3-1 実験方法

ここでは、本システムの動作確認とスマートフォンとスマートウォッチへの情報提示、生体情報取得用センサー開発について述べる。

まず、製作した首輪型計測デバイスの利用可能性を確認するため、屋外での温度と湿度の測定実験を行う。図3に本実験における計測デバイスの様子を示す。センサーデバイスは脚部の地上から350mm程度に固定する。なお日本で最も飼育頭数が多いトイプードルの身長が約350mmである[9]。図4に本実験における測定場所を示す。今回は鶴岡工業高等専門学校(以下鶴岡高専と呼称)から鶴岡駅間の舗装された路面上で測定を行う。測定日時は10月2日の10:20から12:20の120分間である。ルート上を徒歩で移動し、10分ごとにセンサーデバイスで温度・湿度を測定し、スマートフォンに送信する。また、同時刻のAMEDAS[10]の温度・湿度と比較し性能を評価する。

次に、スマートフォンとスマートウォッチへの情報提示について述べる。計測デバイスの気象情報に基づく熱中症予防情報(散歩可能時間)が提供できることを確認する。実験は鶴岡高専の研究室で行い、センサーで室内の温度・湿度を測定しその値に基づく散歩可能時間を算出する。その後、スマートフォン及びスマートウォッチで散歩可能時間の提示について確認を行う。

最後に、生体情報取得用センサー開発について述べる。

#### 3-2 実験結果

まず、製作した首輪型計測デバイスの屋外計測実験について述べる。

図5に本計測アプリの様子を示し、計測デバイスから取得されたデータがスマートフォンに送信されていることが確認できる。図6、図7に本実験における測定値とAMEDASで取得した値を比較したデータを示す。温度の平均差は約2℃、湿度の平均差は約9%である。図6より、測定を行った時間帯では計測デバイスから得られた温度がAMEDASの気象情報に比べ、路面付近は温度が高くなることが推察される。また、今回の測定は10月に行ったものであり、夏の時期にはさらに差が大きくなると考えられる。これらの結果により、犬の熱中症予防のためには路面温度を考慮しなければならないことが分かった。



図5 屋外実験の様子

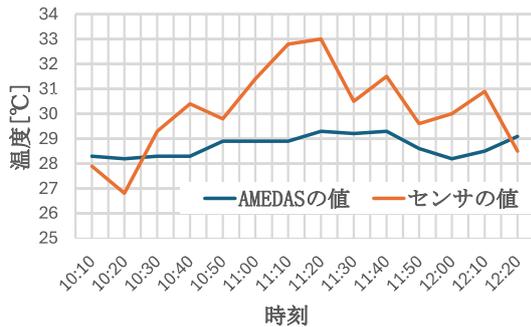


図6 温度測定結果

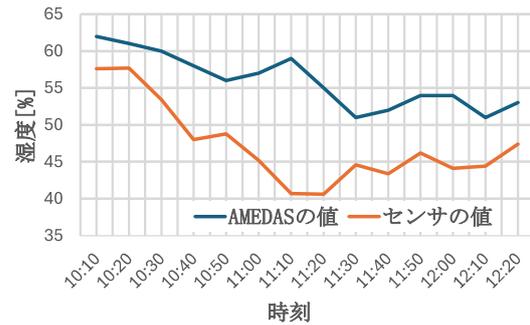


図7 湿度測定結果

図8に散歩可能時間の提示画面を示す。図8より気象センサーからで温度・湿度を取得できていること、その値を利用した散歩可能時間が提示可能であることを確認した。また、スマートフォンからスマートウォッチに散歩可能時間が送信され、画面に表示可能であることを確認した。以上のことより本システムの利用可能性を示した。

最後に、生体情報取得用センサー開発について述べる。当初は皮膚温度や心拍数などを計測可能なセンサーを選別する予定だったが、ペットの毛によって正確に計測することができないことが分かった。このような問題を解決するために、本申請人は SCIVAX 社の関係者、共同研究者である間邊哲也助教との打ち合わせを行い、生体情報を取得することができるセンサーの開発の見通しが得られ、開発する予定である。守秘義務契約を結んであるために、詳細は省略する。

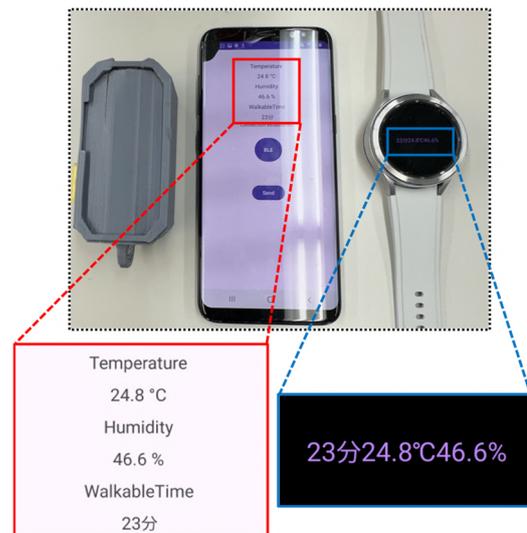


図8 散歩可能時間の提示画面

#### 4 むずび

本研究では、ペット用熱中症予防を行うために、ペットのいるその場所の路面温度を考慮した散歩可能時間を算出し、ユーザーに提示するシステムの構築を行った。具体的には、首輪型デバイスの製作、散歩可能時間の算出、生体情報取得用センサーの開発を行った。首輪型デバイスを用いてペットの高さでの計測した温湿度を用いてCTMに基づいた散歩可能時間を算出可能であることを示した。そして、散歩可能時間をスマートフォン及びスマートウォッチで提示可能であることを確認した。最後に、ペット用生体情報取得用センサーについて検討を行った。以上のことから、本システムの実現に向けた知見を得ることができた。

散歩可能時間を正確に算出するためには、ペットがいるその場所の気象情報（温度、湿度など）、生体情報（皮膚温度、心拍数など）、ペットの運動強度の情報が必要である。本研究では気象情報のみ利用し、生体情報と運動強度はデフォルトの値（平均値）を利用している。今後の課題として、リアルタイムの生体情報と運動強度を計測することでさらに高精度な散歩可能時間を提供することが可能である。具体的には、運動強度については加速度センサー、ジャイロスコープセンサーなどのIMU情報からペットの運動強度を求める。

今後の計画では、生体情報取得用センサーは SCIVAX 社と共同研究者である間邊哲也助教と継続してセンサー開発を行う予定である。そして、加速度センサー情報から運動強度を求めた従来研究がなく、動物病院の獣医師と連携を行う予定である。

## 【参考文献】

- [1] アニコム損害保険株式会社 熱中症の月別診療件数, <https://www.anicom.co.jp/news-release/2024/>
- [2] 一般社団法人ペットフード協会 全国犬猫飼育実態調査 R5, <https://petfood.or.jp/pdf/data/2023/3.pdf>
- [3] 福田萬大, 深沢邦彦, 荒木美民, 藤野毅, 浅枝隆, ”夏季自然状態での各種舗装の熱環境緩和性に関する実験的研究,” 土木学会論文集, vol.36, no.571, pp.149-158, Aug.1997.
- [4] 成田健一, 関根毅, ”アスファルト舗装面の表面温度と熱収支の解析-試験地表面による土壌面との長期比較観測-, ”地理学評論, vol.64,no.2,pp.125-137,1991.
- [5] PetPace PetPace2.0, <https://petpace.com/smart-sensing-collar/>
- [6] Marc Foster, Tianfu Wu, David L. Roberts, and Alper Bozkurt, “Preliminary Evaluation of a System with On-Body and Aerial Sensors for Monitoring Working Dogs,” Sensors 2022, val.22, no.19, 7631, Oct. 2022.
- [7] Adam W. Potter, Larry G. Berglund, and Catherine O’Brine, “A canine thermal model for simulating temperature responses of military working dogs,” Journal of Thermal Biology, vol.91, 102651, July 2020.
- [8] Catherine O’Brine, William J. Tharion, Anthony j. Karis, Heather M. Sullivan, “Predicting military working dog core temperature during exertional heat strain: Validation of a Canine Thermal Model,” Journal of Thermal Biology, vol.90, 102603, May 2020.
- [9] 一般社団法人 犬種別犬籍登録頭数 R4, <https://www.jkc.or.jp/archives/enrollment/21072>
- [10] 気象庁 アメダス,  
<https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/34.5/137/&elem=temp&contents=amedas&interval=60>

## 〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
ペット用熱中症予防システムに関する検討 ～ 犬用熱中症予防について ～	電子情報通信学会技術研究報告, vol. 124, no. 277, SeMI2024-54, pp. 67-71	2024年11月