

バランスWiiボードを用いた犬の階段歩行と平地歩行の計測と解析

梶浦 文夫・井上 麻莉・北島 麻衣・前川 遥香

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2015年10月1日 受理)

1. はじめに

近年イヌやネコなどのペットの室内飼いが増加し^{1) 2)}、それに伴って、イヌが階段を上り下りする機会も増加していることが予想される。しかし、これまで人間に関しては床のすべりを調べた研究は数多く見られるが^{7) 8)}、イヌに関してはほとんど調べられていない。そこで、イヌに関しても今後さまざまな研究を進めるための基礎データを作成するため、2010年度には階段歩行の際の前肢後肢に掛かる荷重を計測するための装置を開発し、2011年度から3年間ラブラドルレトリバーの雌を用いた階段歩行時の四肢にかかる荷重計測と高速度ビデオカメラによる動画を記録する研究を続けている^{3) 4) 5) 6)}。

2010年度に開発した荷重計測装置は、任天堂のWiiFitPlusのバランスWiiボード⁹⁾、階段、バランスWiiボードからのデータを受信するためのノートPC、大画面の液晶ディスプレイ、歩行の様子を撮影するための高速度ビデオカメラからなる。また、バランスWiiボードから送られてくる4隅の圧力センサーの計測値をPCで受信し、CSV形式で記録するためソフトを自作した^{10) 11)}。このソフトには、高速度ビデオカメラで記録する動画とバランスWiiボードからの計測データを同期する機能も実装した。

2011年度から2013年度まで、緩急2種類の階段（公共施設用と一般家庭用）、ラブラドルレトリバーの雌1頭を用いて行った。実験の結果、特に下りでは勾配の急な階段ほどかかる荷重が大きいこと、一般家庭の平均的な勾配の階段では、下りのときの前肢に最も大きな荷重がかかることなどが分かった。

これらの先行研究の成果を受けて、本研究では同じ実験犬を用いて4年目の計測をするとともに、新たに平地歩行での四肢にかかる荷重計測を行って階段歩行時の荷重と比較することにした。本研究では、イヌの4歳から7歳という4年間の加齢による階段歩行の変化について考察するとともに、平地歩行と階段歩行との荷重の違いについて論じる。

以下では、計測方法、結果と考察について述べる。

2. 計測方法

(1) 計測装置

計測装置は、荷重を計測するバランスWiiボード2台、データを記録するPC2台、



図1 計測装置

	A	B	C	D	E
79	77	-3.52593	-3.06134	-5.29107	-1.6348
80	78	-3.60342	-3.17614	-5.36945	-1.75157
81	79	-4.14587	-3.17614	-5.29107	-1.7905
82	80	-3.71966	-2.90827	-5.44784	-1.55696
83	81	-3.95214	-3.13787	-5.683	-1.82942
84	82	-3.87464	-3.21441	-5.48703	-1.86835
85	83	-3.87464	-3.21441	-5.48703	-1.86835

図2 記録されるデータの形式

ディスプレイ2台および記録ソフトからなる。バランス Wii ボードで計測した荷重値は、Bluetooth 通信を用いてパソコンに送られ、パソコンに CSV 形式で記録する³⁾。図1に記録装置を、図2に記録されたデータ形式を示す。図2のA列は記録番号、B列からE列までが4階の圧力センサーの値(kg重)である。

ディスプレイには、PCに記録されるデータのファイル名、現在の荷重値、記録されるデータの番号(記録番号)が表示される。高速度ビデオカメラで、この番号を含めて録画しておく、動画の中のある瞬間の荷重データは、そこに写っている記

録番号から容易に検索できる。

バランス Wii ボードの測定精度は、非常に高いこと、ボードのどの位置に荷重をかけるかによる誤差も非常に小さいことが分かっている³⁾。今回も、実験前に精度確認を行った。Wii ボード2台に対して中央位置に8kg重の重りを載せた際の計測結果は、平均8.06kg重(sd=0.07)と7.93kg重(sd=0.08)であった。また、荷重のかかる位置によって誤差がないかを調べた。6kg重の重りをWiiボードの中央、左端、右端に乗せて計測したところ、中央に置いた時の平均は5.91kg重(sd=0.58)、右端の平均は5.93kg重(sd=0.06)、左端の平均は5.92kg重(sd=0.08)であった。もう一台のWiiボードは、中央の平均が5.96kg重(sd=0.12)、右端が5.99kg重(sd=0.06)、左端が5.91kg重(sd=0.30)であった。

(2) 階段

前年度までとの違いは、緩急2種類の勾配の階段に加えて、平地歩行時の四肢にかかる荷重を計測するための台を製作したことである。図3に2種類の階段を示す。写真の左側は一般家庭で標準的な木製階段(踏み面23.1cm、蹴上21.5cm、階段幅57cm)で、急勾配の階段である。この階段の勾配は、2011年度の学生8人の自宅の階段を採寸し平均したものモデルとしている。また、右側の階段は公共施設の基準の木製階段(踏み面



図3 木製階段の比較（左：一般家庭で標準的な階段 右：公共施設の基準の階段）

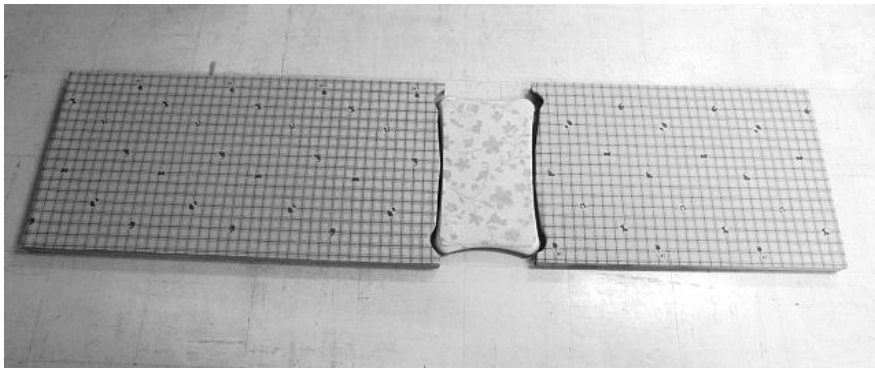


図4 平地歩行計測用の台（左側 120cm、右側 90cm）

26cm、蹴上 18cm、階段幅 57cm）で、緩勾配の階段である。

平地歩行計測用の台を図4に示す。写真の中央部が Wii ボード、左側と右側の部分が今回作成した台である。以上全てのステップには市販のペット用滑り止めマットを貼付けている。

(3) 供試動物

イヌ：ラブラドルレトリバー 雌 7歳（2014年8月時点） 避妊済み。

体重 平均 31.6kg、最大 33.3kg、最少 30.15kg

(4) 測定場所

倉敷芸術科学大学 7号館 1階 3114 実験室

(5) 実験方法

階段歩行については前年までと同様の計測方法である。公共施設の基準の階段と一般家庭で標準的な階段の2種類を用いて、実験犬に上り下りさせ、四肢にかかる荷重を計測した。Wii ボード2台を1段目+2段目、1段目+3段目、2段目+3段目に設置して、それぞれ10回ずつ計測した。また、計測を始める前に毎回実験犬の体重を記録した。したがっ

て、2種の階段ごとに、上り下りごとに、各ステップ20回分の実験データを記録することができた。

実験犬に階段を上り下りさせる際には、リードを持ち誘導する誘導者を決め、毎回同じ人が担当した。歩き始める前にはアイコンタクトを行い、歩くペースを合わせた。また、リードを常に緩ませイヌが自分のペースで上り下りできるようにした。不適切な動きをした場合のデータは除外した。結果として示すデータは、(1)一定のペースで上り下りした、(2)リードがたるんだ状態で外部から力を加えていない、(3)段を飛び越えたりせず全ての段に肢をつけているものだけである。

平地歩行の計測も階段の場合と同様に行った。同じ誘導者が、(1)階段手前で歩くのと同じペースで、(2)リードがたるんだ状態で外部から力を加えていない、(3)Wiiボードを前肢後肢が1回ずつ踏むように行った。以上の条件に合う20回分の実験データを記録した。

(6) 計測データの補正

記録された計測データは図2のような形式をしている。これらのデータを用いて、(1)無荷重時の値を用いたゼロ補正、(2)4つの圧力センサーの値の合計をして、ボードにかかる荷重値を計算した。

3. 結果と考察

表1に、勾配が急な一般家庭用階段と勾配が緩い公共施設基準の階段の昇降時に前肢にかかる最大荷重の計測結果(2011年度から2014年度まで)の一覧を示す。また、表2に、同様の条件で後肢にかかる最大荷重の計測結果の一覧を示す。表の荷重は20回の平均(2011年度のみ10回の平均)である。また、体重比とは、荷重の値が実験日の体重の何%にあたるかを示している。どちらの表の場合も、全てのステップでなく2ステップのみ掲載している。掲載しているステップ以外のステップでは、上り始め、上り終わり、下り始め、下り終わりの体勢になり、階段昇降時の体勢と異なるためである。

表1および表2から、階段昇降時の最大荷重は一般階段下降時の前肢にかかっており、その値は前肢1本に全体重の94%から104.7%であることが分かる。当然のことながら、公共用の緩い階段の場合は、前肢1本に全体重の87.2%から90.4%で、階段の勾配が緩くなった分だけ小さくなっていることが分かる。後肢にかかる荷重では、急な一般階段の上りで、後肢1本に全体重の73.4%から80.0%の荷重がかかっており、緩い公共階段での66.3%から68.3%に比べて大きな荷重となっている。

表1と表2の最後の列には、4年間の変化が全体的に増加しているのか減少しているのかを書いた(表2の最後の行はどちらとも言えないので「?」にしている)。この増加減少傾向を見ると、下りの前肢荷重も後肢荷重も減少している。このことは、言葉を変えれば、4歳から7歳までのイヌの年齢変化によって、脚に瞬間的な大きな荷重がかからない

表1 4年間の荷重と体重比の変化（前肢）

公共/ 一般	上り/ 下り	ステップ	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	全体的に 増/減
公共 (緩)	上り	2 段目	16.5kg重 56.3%	18.7kg重 58.6%	19.1kg重 58.5%	19.9kg重 61.1%	増
		3 段目	15.8kg重 54.0%	17.5kg重 54.7%	18.4kg重 55.9%	18.4kg重 57.2%	増
	下り	1 段目	26.8kg重 90.4%	28.4kg重 90.0%	29.1kg重 88.5%	26.3kg重 87.2%	減
		2 段目	25.0kg重 84.9%	25.8kg重 80.8%	26.8kg重 82.1%	26.8kg重 81.7%	減
一般 (急)	上り	2 段目	17.4kg重 58.9%	17.8kg重 55.1%	23.6kg重 72.8%	19.0kg重 59.7%	増
		3 段目	15.8kg重 53.4%	17.6kg重 54.5%	17.6kg重 53.6%	19.3kg重 60.6%	増
	下り	1 段目	31.2kg重 104.7%	31.6kg重 98.2%	32.6kg重 98.9%	28.6kg重 94.0%	減
		2 段目	26.9kg重 91.2%	27.1kg重 83.9%	28.2kg重 85.8%	28.0kg重 87.7%	?

表2 4年間の荷重と体重比の変化（後肢）

公共/ 一般	上り/ 下り	ステップ	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度	全体的に 増/減
公共 (緩)	上り	1 段目	19.9kg重 67.1%	21.2kg重 67.3%	21.8kg重 66.3%	22.2kg重 68.6%	増
		2 段目	18.9kg重 64.2%	18.3kg重 57.4%	20.0kg重 66.5%	21.2kg重 65.2%	増
	下り	2 段目	15.0kg重 50.9%	16.4kg重 52.3%	18.0kg重 55.1%	17.5kg重 53.7%	増
		3 段目	15.8kg重 53.9%	19.5kg重 56.5%	18.0kg重 54.7%	18.2kg重 56.3%	増
一般 (急)	上り	1 段目	23.8kg重 80.0%	23.7kg重 73.6%	24.9kg重 75.6%	23.5kg重 73.4%	減
		2 段目	20.8kg重 70.3%	21.5kg重 66.6%	22.1kg重 67.3%	22.1kg重 69.2%	減
	下り	2 段目	15.1kg重 51.0%	16.5kg重 51.0%	15.8kg重 48.0%	16.0kg重 50.0%	減
		3 段目	16.8kg重 56.8%	17.5kg重 50.8%	17.5kg重 53.0%	16.8kg重 52.6%	減

表3 平地歩行時の前肢後肢の最大荷重と体重比

前肢/ 後肢	平地 最大荷重	平地 体重比	静止時 体重比*	急階段 下り	緩階段 下り	急階段 上り	緩階段 上り
前肢	19.9kg重	59.7%	30%	94.0%	87.2%	60.6%	61.1%
後肢	11.1kg重	35.4%	20%	52.6%	56.3%	73.4%	68.6%

*南動物病院グループによる調査

ように、そっと歩くように変化している様子が見えてくる。

表3には、各条件で前肢1本にかかる最大荷重を示している。表3の2列目は、平地を歩く時の前肢と後肢の最大荷重の平均（20回計測）、3列目にはその最大荷重が全体重の何％にあたるかを示している。これらと比較するために、4列目には南動物病院グループの調査¹²⁾による静止時の前肢後肢1本にかかる荷重を、5列目から8列目には表1と表2から2014年度の値を記している。

表3から、イヌは静止している時に前肢1本に全体重の約30％がかかっているのに対して、平地歩行時には59.7％、公共階段下り時は87.2％、家庭の階段下り時は94％の荷重がかかっていることなどが分かった。静止時と比べて家庭の一般的な階段下り時には前肢1本に3倍以上の最大荷重がかかっている。但し、静止時の前肢後肢の荷重は、さまざまな犬種の平均値であると思われるので、今回のゴールデンレトリバーでの実験値と厳密には比較できない。

4. まとめ

自作の計測装置を用いて、イヌが階段を歩行する時の四肢にかかる荷重を、過去3年間に続いて今年度も計測した。さらに、平地歩行時の四肢にかかる荷重の測定にも取り組んだ。これまでの結果と同様に、急な階段ほど大きな荷重がかかること、上りの場合は後肢に、下りの場合は前肢に大きな荷重がかかること、全体では下りの前肢に最も大きな荷重がかかることが確かめられた。4年間の計測結果の比較から、年齢的な変化によって、最大荷重である急階段下り時の前肢荷重が減少していることは、人間の場合も足にかかる負担を減らす方向に変化する、つまり、「そっと歩く」ように変化するのと同じように見える。以上の考察は、実験に使用しているイヌがさらに高齢化した時により明確になってくるのではと考えている。

今後も、可能な限り実験を継続することによって、加齢による変化について調査していきたい。

文献

- 1) 一般社団法人ペットフード協会 HP, <http://www.petfood.or.jp/>
- 2) 株式会社富士経済, ペット関連市場調査, <https://www.fuji-keizai.co.jp/report/>

- 3) 梶浦文夫, “バランス Wii ボードを用いた犬の階段歩行の計測装置”, 倉敷芸術科学大学紀要 No.17, pp.103-109 (2012).
- 4) 梶浦文夫他, “バランス Wii ボードを用いた犬の階段歩行の計測と解析”, 倉敷芸術科学大学紀要 No.18, pp.61-68 (2013).
- 5) 梶浦文夫他, “バランス Wii ボードを用いた犬の階段歩行の計測と解析 (2)”, 倉敷芸術科学大学紀要 No.19, pp.63-70 (2014).
- 6) 梶浦文夫他, “バランス Wii ボードを用いた犬の階段歩行の計測と解析 (3)”, 倉敷芸術科学大学紀要 No.20, pp.51-58 (2015).
- 7) 横山裕, 小川慧, 小野英哲, 横井健, “ペットのすべりからみた床の安全性の評価方法に関する研究”, 日本建築学会構造系論文集 (624) pp.189-196, 2008.
- 8) 小野英哲, 河田秋澄, 宮本宗和, 吉岡丹, “床のすべりおよびその評価方法に関する研究”, 日本建築学会論文報告集 (321) pp.1-8, 1982.
- 9) バランス Wii ボード公式 HP, <http://www.nintendo.co.jp/wii/rfpj/>
- 10) 白井暁彦・小坂崇之・木村秀敬・くるくる研究室, “WiiRemote プログラミング”, オーム社, 2009.
- 11) Wiimotelib を使う, <http://hikakeya3.blog68.fc2.com/>
- 12) 小笠原茂里人, “分散型荷重計を用いた四肢評価の検討”, <http://www.slideserve.com/nathan-mcneil/7083387>

An Analysis of Dogs Walking on the Staircase and Flat Floor with Wii Fit Balance Board

Fumio KAJIURA, Mari INOUE, Mai KITAJIMA, Haruka MAEGAWA

Dept. of Comparative Animal Science,

College of Life Science,

Kurashiki University of Science and the Arts,

2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505. Japan

(Received October 1, 2015)

Recently the number of pets, particularly indoor dogs and cats has been increasing. Along with that, the frequency of dogs ascending/descending on the stairs are also increasing. There are various dangers when dogs go up and down stairs. Especially when dogs go down stairs, there is a possibility that a considerably big load is added on the forelegs of the dog. So we measured the load of forelegs and hind legs of dogs descending stairs in 2011, 2012, 2013 and 2014. In addition to this measurement, we measured the load of legs walking on the flat floor in 2014. As a result of the experiments, it is clear that the maximum load on one foreleg was 105% of dog's whole weight when walking down the typical Japanese house's stairs. And also that the maximum load on one foreleg was 59.7% of dog's whole weight when walking on the flat floor.

The dog used in this experiments was 4 years old in 2011, 7 years old in 2014. Like aged persons, dogs walk down the stairs more and more slowly in order to prevent their legs from the big load. This paper discusses the change of the maximum load on the dog's legs for these four years and the difference of the load on the dog's legs between in the case of stairs and in the case of the flat floor.