

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)

秋山 里奈・加志崎 栞・向谷哲ノ伸・渡邊 美幸・梶浦 文夫

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2014年10月1日 受理)

1. はじめに

近年のイヌなどペットの室内飼いの増加^{1) 2)}にともなって、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。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^{5) 6)}、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かかる荷重を計測するための装置を開発し、2011年度から2013年度まで3年間ラブラドルレトリバーの雌を用いた階段歩行の計測を行った。そのうち2011年度、2012年度については本紙上で報告した^{3) 4) 10)}。本研究では、2013年度の計測結果を報告するとともに、4歳(2011年)から6歳(2013年)までの2年間の間に加齢による階段歩行の変化がみられるか、また加齢によって肢にかかる荷重の大きさに変化が見られるかを調べた。

イヌの肢にかかる荷重を計測する装置は2010年度に開発した。任天堂のWiiFitPlusのバランスWiiボード⁷⁾、緩急2種類の階段、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、記録された動画と計測データを同期する機能をもつ記録用ソフトを自作した^{8) 9)}。

今回を含めた3年間の計測結果から、2年間では分からなかった変化の傾向が明らかになってきた。ただ6歳の実験犬はまだまだ元気で、荷重の変化が加齢によって引き起こされたとは断定できない。本研究では3年間の体重増加によって荷重値や荷重の体重比の変化が起こったと結論付けた。

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、基本的に2010年度に開発したものをそのまま継続して使用している³⁾。荷重を計測するバランスwiiボード2台(2011年度は1台)、データを記録するPC2台(2011年度は1台)、ディスプレイ2台(2011年度は1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



図1 計測装置

ソコンにCSV形式で記録する。記録データはMS-Excelなどの表計算ソフトで利用できる。図1の写真の例では、階段の2段目と3段目にバランスWiiボードを固定し、同時に計測し、2台のPCに記録される。このように2012年度からは、前肢後肢間の荷重バランスが時間軸にそってどのように変化するのかを記録

できるようになった。

ディスプレイには、PCに記録されるデータのファイル名(左側のディスプレイの場合には「130805142224」。このファイル名で記録保存される)、現在の荷重値、記録されるデータの番号(記録番号、図1の場合は155)が表示される。データ記録用ソフトは、受信したデータを記録する瞬間に画面に大きなフォントで記録番号を表示するようにしている。高速度ビデオカメラで、この番号を含めて撮影しておく、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。図2に記録されるデータの形式

| | 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

を示す。図2の中のA列が記録番号、その右の4列はWiiボードの4隅のセンサーが測定した荷重値である。

実験に先立ってバランスWiiボードの測定精度を調べた。まず、高精度のはかりを使用して2Kgと6Kg

の重しを作成した。2台のバランスWiiボードに2Kgおよび8Kgの重しを載せて計測した結果、バランスWiiボードAは平均2.02Kg (sd=0.06)、平均8.01Kg (sd=0.04)、バランスWiiボードBは平均1.98Kg (sd=0.05)、平均8.03Kg (sd=0.04)であった。次にボードのどの位置に荷重をかけるかによる誤差も調べた。6Kgの重しをバランスWiiボードの中央、左端、右端に載せて計測した。バランスWiiボードAは、中央平均5.97Kg (sd=0.07)、左端平均5.98Kg (sd=0.07)、右端平均5.98Kg (sd=0.06)、バランスWiiボードBは、中央平均6.02Kg (sd=0.04)、左端平均6.02Kg (sd=0.04)、右端平均6.01Kg (sd=0.07)であった。以上の結果から2台のバランスWiiボードの計測誤差は非常に小さいことが分かった。

(2) 階段

図3に示すように2種類の勾配の階段を2011年度に製作して使用している。写真左側の階段は、「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)である。また、写真右側の階段は、「公共施設の基準の木製階段」(踏み面26cm、蹴上18cm、階段幅57cm)である。この蹴上と踏面の寸法は、建築法規に従っている。また、安全のため、ステップに市販のペット用滑り止めマット貼付けている。



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)

(3) 供試動物

イヌ：ラブラドル・レトリバー 雌6歳(2013年8月時点) 避妊済み

(4) 測定場所

倉敷芸術科学大学 7号館 1階 3114教室

(5) 実験方法

2011年度から行っている実験方法と同様に、2種類の勾配の階段を用いて、実験犬に上り下りさせ、四肢にかかる荷重を計測した。2011年度はWiiボード1台を用いたため、1段目、2段目、3段目に設置して、それぞれ10回計測した。これに対して2012年度と2013年度はWiiボード2台を用いたため、1段目と2段目、1段目と3段目、2段目と3段目に設置して、それぞれ10回ずつ計測した。したがって、2種の階段ごとに、上り下りごとに、2011年度は各ステップ10回分の実験データを、2012年度と2013年度は20回分の実験データを記録することができた。また、計測を始める前に毎回実験犬の体重を記録した。

また、実験犬が黒色でビデオ映像から左右の肢を区別するのが難しいため、実験中は右

前肢と右後肢にベトラップを巻いて計測を行った。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。

イヌを用いた実験であるため、不適切な動きをした場合のデータは除外した。したがって、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いているものだけである。これらの基準を満たさなかった場合は、実験をやり直した。また、実験終了後にも高速度撮影したビデオ映像で動きをチェックし、条件に合わないデータを除外した。

(6) 計測データの補正

2011年度から行っている方法と同様に、記録された計測データを用いて、(1)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、(2)無荷重時の値を用いてゼロ補正を行った。

3. 結果と考察

表1に、勾配が急な一般家庭用階段昇降時に四肢にかかる荷重の計測結果(2011年度から2013年度)の一覧を示す。また、表2に、勾配が緩い公共施設用階段昇降時に四肢にかかる荷重の計測結果の一覧を示す。表中、上り始め、上り終わり、下り始め、下り終わりの場合身体の傾きが他と異なるため空欄にしている。両表中の4列目から6列目の「荷重」の値は、その肢がボードを踏んでいた間の最大値の平均(2011年度は10回の平均、その他の年度は20回の平均)である。また、その値が実験犬のその日の体重の何パーセントにあたるのかを「体重比」としてそれぞれ[]の中に%単位で記している。実験は各年度ともに2カ月以上にわたって実施されたため、その間にも体重が変動している。2011年度の体重は29.3Kgから29.8Kg、2012年度の体重は31.5Kgから33.8Kg、2013年度の体重は32.3Kgから33.0Kgである。2011年度と2013年度は比較的体重の変動が小さいが、2012年度は変動幅が大きいことが分かる。また、表の7列目は3年度分の荷重について全体的に増加傾向にある場合は「△」、減少傾向にある場合は「▼」、どちらとも言えない場合は「-」を記している。一方8列目には体重比(荷重がその時の体重の何%)が増加傾向(△)、減少傾向(▼)、どちらとも言えない(-)かを記している。

表1と表2から、(1)勾配が急な一般家庭用階段の方が大きな荷重がかかっていることが分かった。また、(2)上りの場合も下りの場合も下側にある肢にかかる荷重が大きかった。そして、(3)イヌの身体の構造から上りの後肢よりも下りの前肢の方に大きな荷重がかかっていた。以上のことは3年間の計測結果に共通しており、昨年度本誌において報告した結果とも一致している。

表1 一般家庭用階段昇降時に四肢にかかる荷重 (2011年度は10回、他は20回の平均)

| 上り/ 下り | 計測 | 前後肢 | 2011年度 | 2012年度 | 2013年度 | 荷重 増減 増△ 減▼ | 体重比 増減 増△ 減▼ |
|-----------|------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | 荷重 (Kgw) [体重比 %] | 荷重 (Kgw) [体重比 %] | 荷重 (Kgw) [体重比 %] | | |
| 上り | 1 段目 | 前肢 | | | | | |
| | | 後肢 | 23.8 [80.0] | 23.7 [73.6] | 24.9 [75.6] | △ | ▼ |
| | 2 段目 | 前肢 | 17.4 [58.9] | 17.8 [55.1] | 18.1 [55.9] | △ | ▼ |
| | | 後肢 | 20.8 [70.3] | 21.5 [66.6] | 22.1 [67.3] | △ | ▼ |
| | 3 段目 | 前肢 | 15.8 [53.4] | 17.6 [54.5] | 17.6 [53.6] | △ | - |
| | | 後肢 | | | | | |
| 下り | 1 段目 | 前肢 | 31.2 [104.7] | 31.6 [98.2] | 32.6 [98.9] | △ | ▼ |
| | | 後肢 | | | | | |
| | 2 段目 | 前肢 | 26.9 [91.2] | 27.1 [83.9] | 28.2 [85.8] | △ | ▼ |
| | | 後肢 | 15.1 [51.0] | 16.5 [51.0] | 15.8 [48.0] | △ | ▼ |
| | 3 段目 | 前肢 | | | | | |
| | | 後肢 | 16.8 [56.8] | 17.5 [50.8] | 17.5 [53.0] | △ | ▼ |

表1の荷重の増減の様子を見ると、3年間の実験によって増加傾向であることが分かる。この結果は、実験犬の体重が2011年度から2013年度にかけて全体としては増加していることが原因になっていると考えられる。それに対して、体重比の増減は減少傾向となっている。この結果から、「体重の増加によって実験犬の肢には大きな荷重が加わるようになった」が、体重比の変化で見ると、「肢にかかる荷重の増加を体重増加分よりも小さく抑えている」と考えることができそうである。このように曖昧な表現になっているのは、もう一つの原因として、実験犬の加齢による変化も考えられるからである。しかし、イヌが4歳から6歳になったからと言って運動能力がそれほど低下するとも考えられないので、今後老化が進むまで実験を続けた後でこの議論をしたいと考えている。現時点では実験犬の動きも活発であり、時間による変化は体重の変化のみとする。

同様の観点で表2を見ると、荷重そのものの増減に関しては全体として増加傾向だが、体重比の変化は増加傾向の箇所と減少傾向の箇所が半ばしている。表1と表2では、体重比の変化が異なっている。この違いをどのように考えるべきなのだろうか。表1は勾配の急な階段での結果であり、表2は比較的勾配が緩い階段での結果である。そのため、表2では、上りの後肢、下りの前肢というどちらも大きい荷重がかかる方の肢の体重比が減少傾向になっている。つまり、このことは、前述した表1と同様に、体重の増加によって大きな荷重がかかろうとすると、できるだけそれを抑制するようにしていると考えられる。具体的には、ゆっくり歩いたり、そっと接地することによって瞬間的な最大荷重を小さくしているのではないか。接地の時間を長くすることによって、同じ力積であれば最大荷重を小さく抑えることができるからである。

3年間の実験データを用いて肢にかかる荷重の大きさが時間とともに（体重の増加に

表2 公共施設用階段昇降時に四肢にかかる荷重(2011年度は10回、他は20回の平均)

| 上り/ 下り | 計測 | 前後肢 | 2011年度 | 2012年度 | 2013年度 | 荷重 増減 増△ 減▼ | 体重比 増減 増△ 減▼ |
|-----------|-----|-----|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | 荷重(Kgw) [体重比%] | 荷重(Kgw) [体重比%] | 荷重(Kgw) [体重比%] | | |
| 上り | 1段目 | 前肢 | | | | | |
| | | 後肢 | 19.9 [67.1] | 23.7 [73.6] | 21.8 [66.3] | △ | ▼ |
| | 2段目 | 前肢 | 16.5 [56.3] | 18.7 [58.6] | 19.1 [58.5] | △ | △ |
| | | 後肢 | 18.9 [64.2] | 18.3 [57.4] | 20.0 [62.0] | △ | ▼ |
| | 3段目 | 前肢 | 15.8 [54.0] | 17.5 [54.7] | 18.4 [55.9] | △ | △ |
| | | 後肢 | | | | | |
| 下り | 1段目 | 前肢 | 26.8 [90.4] | 28.4 [90.0] | 29.1 [88.5] | △ | ▼ |
| | | 後肢 | | | | | |
| | 2段目 | 前肢 | 25.0 [84.9] | 25.8 [80.8] | 26.8 [82.1] | △ | ▼ |
| | | 後肢 | 15.0 [50.9] | 16.4 [52.3] | 18.0 [55.1] | △ | △ |
| | 3段目 | 前肢 | | | | | |
| | | 後肢 | 15.8 [53.9] | 19.5 [56.5] | 18.0 [54.7] | △ | △ |

よって)どのように変化するか、またその理由について議論した。しかし、研究の目的である加齢による変化については明らかになっていない状態である。この点について議論するためには、実験犬が明らかに老化するまで実験を続けなければならない。その時には老化によって歩行の様子も変化し、肢にかかる荷重の大きさも変化するはずである。

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2011年度から2013年度まで3年間計測した。2013年度の結果もそ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。3年間の計測結果の比較から、体重の増加によって肢にかかる荷重も大きくなること、しかし、増加量は体重の増加量と比べて少ないこと、特に下りの前肢のように大きな荷重がかかる場合にその傾向が顕著であることなどが明らかとなった。この3年間の計測結果の変化には、加齢と体重増加という2つの要因が存在するが、4歳から6歳への変化はまだまだ老化と呼べるほどの変化ではないので、体重増加による変化についてしか議論できないという問題点が残った。

今後は、毎年実験を継続することによって、体重の変化がほぼないと言える時の加齢による変化など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) 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.
- 6) 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.
- 7) バランスWiiボード公式HP, <http://www.nintendo.co.jp/wii/rfpj/>
- 8) 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.
- 9) Wiimotelibを使う, <http://hikakeya3.blog68.fc2.com/>
- 10) 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と解析 (2)”, 倉敷芸術科学大学紀要 No.19, pp.63-70 (2014).

An Analysis of Dogs Walking on the Staircase with Wii Fit Balance Board (3)

Rina AKIYAMA, Shiori KASHIZAKI, Tetsunoshin MUKAIYA,
Miyuki WATANABE and Fumio KAJIURA

*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, 2014)

Recently the number of pets, particularly indoor dogs and cats has been increasing. Along with that, dogs walk up and down the stairs more and more often. There are various dangers when dogs walk up and down stairs. Especially when dogs walk down stairs, there is a possibility that a considerably big load is added on forelegs of the dog. So we measured the load on forelegs and hind legs of dogs walking down stairs in 2011, 2012 and 2013. As a result of these three years experiments, the maximum load on one foreleg was 105% of dog's whole weight when they walk down the typical Japanese house's stairs.

The dog used in experiments was 4 years old in 2011 and 6 years in 2013. An aged man walks up and down on the stairs very slowly in order to prevent big load on his legs. Are dogs the same? This paper discusses the change of the maximum load on the dog's legs for these three years.