

バランス Wii ボードを用いた犬の階段歩行の計測と解析

伊東 亜子・北川美由紀・近藤 優樹・山本 桂子・梶浦 文夫

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2012年10月1日 受理)

1. はじめに

近年イヌなどのペットの室内飼いが増加しており^{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^{4) 5)}、イヌに関しては調べられていない。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として、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、本紙上で報告した³⁾。

この計測装置は、自作の木製の階段、任天堂のWii Fit PlusのバランスWiiボード⁶⁾、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。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受信し、CSV形式で記録するためソフトを自作した^{7) 8)}。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。

実験は、計測装置、緩急2種類の階段、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。また、その時の1本の前肢にかかる荷重はイヌの全体重の105%に達することなども分かった。これらの結果から、特に高齢犬などの階段歩行についての問題点などが浮かび上がってきた。

以下では、計測システム、材料と方法、結果と考察について述べる。

2. 計測装置の概要

イヌが階段を上り下りするときの四肢にかかる荷重を測定するために、計測装置を開発し、前年度の本誌で報告した³⁾。したがって、ここでは簡単に装置の概要を説明する。この計測装置は、緩急2種類の4段の階段、荷重を計測するバランスWiiボード、データを記録するPCおよび自作ソフトからなる。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。記録データはMS-Excelなどの表計算ソフトで利用できる。

データ記録用の自作ソフトは、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

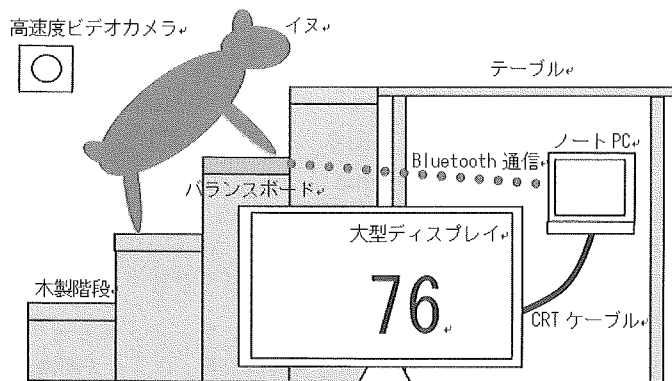


図1 実験装置全体図

で記録番号を表示するようにしている。高速ビデオカメラで、この番号を含めて録画しておくと、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1の例では「76」というのが記録番号である。また、図2に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。例えば動画に写っているディスプレイに表示された記録番号が80番だとすると、その瞬間に記録された荷重データは、記録番号80番の行の右のデータである。実際には、荷重の測定、通信、PC側の記録までにかかる時間のため遅延が発生し、計測した荷重値が記録されるまでに0.1秒(記録番号で2)かかる。したがって、動画の中に表示されている記録番号が80のときは、そのときの荷重値は82番の行に記録される。

	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

バランスWiiボードの測定精度は、非常に高く、今回の実験に十分に耐えられることが確かめられている³⁾。2Kg重の重りを312回計測した結果、計測値の平均は2.03Kg重、標準偏差は0.06、

8Kg重の重りを163回計測した結果、計測値の平均は8.02Kg重、標準偏差は0.06であった。また、バランスWiiボードの上面のどこに荷重を加えるかによって計測制度が変化するかを調べた結果、左端、中央、右端のどこに重りを置いても誤差は無視できる程度であることが分かった。

3. 材料と方法

(1) 計測装置

Wii Fit Plus バランス Wii ボード (Nintendo 社製)

ノート PC Acer Aspire One (Acer 社製) OS: Windows XP

USB-Bluetooth アダプタ BT-Micro EDR1X (PLANEX コミュニケーションズ社製)
 同期用液晶ディスプレイ 23inch (LG 電子社製)
 高速度ビデオカメラ EXILIM EX-F1 (CASIO 社製)
 記録用ソフト Wii BB (著者が開発, 開発環境: VB2008 Professional+Wii motelib1.7)

(2) 木製階段

コンクリート型枠用合板製の階段

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)

公共施設の基準の木製階段 (踏み面 26cm、蹴上 18cm、階段幅 57cm)

(ステップに市販のバット用滑り止めマット貼付け。図 3 に 2 種類の階段を示す)

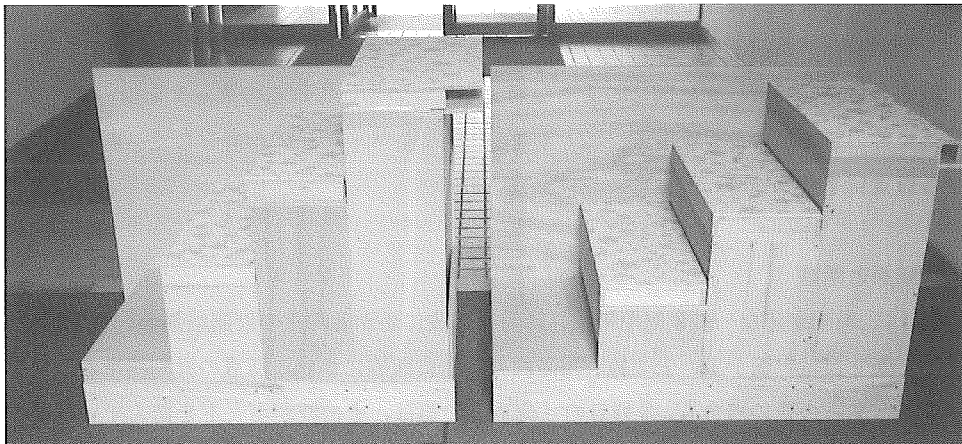


図 3 木製階段の比較 (左: 一般家庭で標準的な階段 右: 公共施設の基準の階段)

(3) 供試動物

イヌ: ラブラドル・レトリバー 雌 4 歳 (2011 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 3116 教室

(5) 実験方法

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。荷重計測のための Wii ボードは階段のステップに両面テープで固定した。また Wii ボードを置かないステップには、Wii ボードと同じ厚みの台を置き、ステップ面の高さを揃えた。Wii ボードが 1 台しかなかったため、1 段ずつ計測し、計測前には毎回実験犬の体重を記録した。計測は 1 段につき 10 回行った。したがって、全体の実験回数は、2 種類の階段それぞれに 3 段のステップ毎に 10 回上り下りをさせて計測した。

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、こちらが想定しているのとは異なる動きをする場合がある。例えば、階段昇降時にジャンプして、ある段に肢をつかなかったような場合、途中で止まってしまった場合など、このような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

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。

4. 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。どちらの表の場合も、5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(10回計測分)である。また、その荷重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6列目に記している。7列目は、5列目の荷重値10回分の標準偏差である。8列目の体重は、実験開始直前に測定したものである。

実験は6月7日から8月5日まで約2ヶ月間に渡って行われたため、その間の実験犬の体重増減が予想された。このため、荷重値の体重比も計算することにしたが、実際には2ヶ月の間に実験犬の体重が増減することはなかった。

表1と表2を比較すると、予想された通り、(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。これらは全て予想通りであったが、ではどの程度の荷重が加わるのかについては、著者らの予想とは異なる結果となった。表1と表2の結果のうち特徴的な部分を表3に抜き出した。

表 1 一般家庭用階段昇降時に四肢にかかる荷重 (10 回の平均)

階段	上り/下り	計測	前後肢	荷重 (Kg重)	体重比	SD	体重 (Kg重)
一般家庭	上り	1 段目	前肢	21.1	71%	2.5	29.75
			後肢	23.8	79%	2.7	
		2 段目	前肢	17.4	59%	2.2	29.55
			後肢	20.8	70%	2.3	
		3 段目	前肢	15.8	53%	1.6	29.60
			後肢	14.8	50%	1.1	
	下り	1 段目	前肢	31.2	105%	1.3	29.75
			後肢	19.5	66%	2.0	
		2 段目	前肢	26.9	91%	1.9	29.55
			後肢	15.1	51%	3.3	
		3 段目	前肢	22.4	76%	1.8	29.60
			後肢	16.8	57%	2.4	

表 2 公共施設用階段昇降時に四肢にかかる荷重 (10 回の平均)

階段	上り/下り	計測	前後肢	荷重 (Kg重)	体重比	SD	体重 (Kg重)
公共施設	上り	1 段目	前肢	20.1	68%	2.1	29.65
			後肢	19.9	67%	1.5	
		2 段目	前肢	16.5	56%	1.7	29.40
			後肢	18.6	64%	1.7	
		3 段目	前肢	15.8	54%	0.9	29.30
			後肢	13.7	47%	1.1	
	下り	1 段目	前肢	26.8	90%	1.7	29.65
			後肢	17.6	56%	1.9	
		2 段目	前肢	25.0	85%	1.3	29.40
			後肢	15.0	51%	1.2	
		3 段目	前肢	21.5	73%	2.1	29.30
			後肢	15.8	53%	1.5	

表 3 の中で最も特徴的な箇所は、勾配の急な一般家庭用階段の下りの前肢の荷重である。この時の前肢 1 本に、31.2Kg 重、全体重の 105% の荷重がかかっている。これに対して勾配の緩い公共施設用階段の場合は、下りの前肢の荷重が 26.8Kg 重、全体重の 90% の荷重がかかっていた。一方、上りの場合は大きな荷重のかかる後肢でも、急こう配の階段で 23.8Kg 重 (全体重の 79%)、緩勾配の階段で 19.9Kg 重 (全体重の 67%) であった。

表 3 階段別で見た前肢、後肢にかかる荷重

階段タイプ	一般家庭で標準的な階段		公共施設の基準の階段	
	上り	下り	上り	下り
前肢	15.8 (53%)	31.2 (105%)	15.8 (54%)	26.8 (90%)
後肢	23.8 (79%)	16.8 (57%)	19.9 (67%)	15.8 (53%)

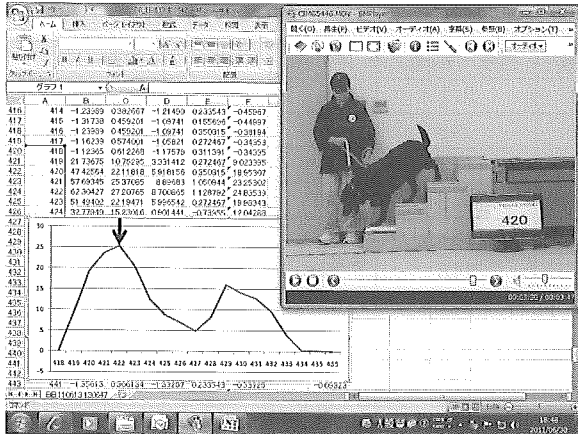


図4 前肢に最大荷重がかかる瞬間

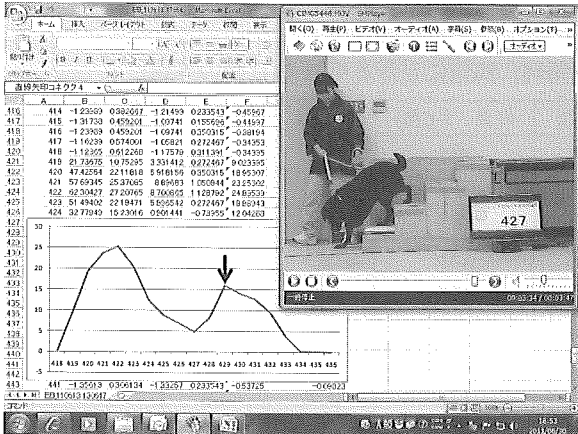


図5 後肢に最大荷重がかかる瞬間

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計測した。結果から、急な階段ほど、上りより下りの方が、後肢より前肢に大きな荷重がかかることが分かった。特に、一般的な家庭の階段を下るときの前肢一本に、全体重の105%がかかることなどが分かった。それでも、これらの実験結果は著者らの予想よりはずっと小さな値である。その理由として、イヌは肢にかかる大きな荷重を、しなやかな動きで吸収し、一瞬の間に大きな荷重がかかることを防いでいるのではないかという疑問が浮上してきた。

今後は、毎年実験を継続することによって、イヌの老齢化によってしなやかな肢の動きができなくなったときに、瞬間的にどの程度の大きな荷重がかかるのかも調査していきたい。

図4に、下りの前肢に最大の荷重がかかる瞬間の画像と荷重値を示す。図の右上の画像は、高速度カメラのビデオ映像からある瞬間のフレームを切り出したものである。画像の中に写っているディスプレイの記録番号が420なので、遅延の2を加えた記録番号422の荷重値がこの瞬間の前肢にかかる荷重値である。また、その時のイヌの肢の位置や姿勢は画像のとおりである。

図5に、下りの後肢に最大の荷重がかかる瞬間の画像と荷重値を示す。図の右上の画像から記録番号が427であることが分かり、遅延の2を加えた記録番号429の荷重値がこの瞬間の後肢にかかる荷重値である。また、その時のイヌの肢の位置や姿勢は画像の通りである。

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) 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.
- 5) 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.
- 6) バランスWiiボード公式HP, <http://www.nintendo.co.jp/wii/rfpj/>
- 7) 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.
- 8) Wiimotelibを使う, <http://hikakeya3.blog68.fc2.com/>

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

Ako ITOH, Miyuki KITAGAWA,
Yuki KONDOH, Keiko YAMAMOTO, 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, 2012)

Recently the number of pets, particularly indoor dogs and cats has increased. Along with it, the frequency that dogs ascend and descend 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 forefoot of the dog. So we designed and made a staircases for experiments. The staircase for experiments contains Wii balance board in order to measure the load of forefoot and other limbs of descending dogs. Wii balance board can communicate with PCs by the Bluetooth networks, so we can receive and save the data, while recording video of dogs walking up and down stairs.

As a result of the experiments, it is clear that the maximum weight was loaded the forefoot of dogs when they go down the stairs. 105% of dogs weight was loaded on one forefoot when dogs descend on the typical incline stairs.

This paper reports on a experiment with descending dogs on the stairs and its results.