

犬と人の同伴歩行における運動学および運動力学的データ解析 —3次元動作解析が示す歩行に及ぼす犬具の影響—

山本 健治・木村 歩・西尾 志保・船井 隆平

倉敷芸術科学大学生命科学部

(2009年10月1日 受理)

1. はじめに

動物医療とくに理学・作業療法の世界において犬の歩行障害を的確に分析し、内因を特定する診断は、人に対する診断や療法と同じように、極めて有効な情報を提供するものと期待されている。診断によって飼い犬の障害の原因がわかれば、かりに故障部位の手術をすることになったとしても事前にリハビリ計画を立てることができる。そして手術後には痛みを緩和する療法、たとえば関節可動域を確保する運動療法、超音波療法や水中療法を施すことによって、飼い犬の生活スタイルを壊すことなく短期間で回復に導くことも可能になるからである。そのような目的のための診断では、従来は、映像データを目視したり、モーション・キャプチャーで時間的進行を精査したり、あるいは牛馬など中程度以上の大きな家畜に対しては高精度の加速度センサーを適用したりした。これらは広義に「運動学的診断法」と称される方法である。それに対して、最近では、床反力計を使用して歩行中の床反力中心の位置の変化の異常を調べたりする方法も可能になった。このような力学的計測を含む診断法は「運動力学的診断法」と呼ばれている。床反力計測もモーション・キャプチャーと同じように3次元的に解析される時代になった。現時点で、犬歩行にこれら二つの診断法を組み合わせる利点を明らかにする意義は大きい。

ペットブームのいま、犬と散歩している人を見かけることが多い。医療行為とはべつの日常生活のレベルにおいても、首輪や胴輪につながるリードあるいはハーネスが人と犬にどのような影響を及ぼすのかという興味がある。歩行中ふつうに起きる現象で、たとえば人が犬と並んで歩く位置が前後する、人が犬を引っ張る、逆に犬が人を引っ張る等々の様々な動きの過程で、犬が首輪を着けているか胴輪を着けているかで人と犬の骨格や筋肉の動きはどうか違ってくるだろうか。このような犬と人の両方の運動力学的情報を視覚化する技術は、上記二つの診断に歩行者の運動学的情報などを同時系列で追加して完成する。本来なら、歩行者の運動にも目配りをして初めて犬具の適切な使い分けや改良が可能になる。もちろん、犬歩行にモーション・キャプチャーと床反力計を合わせて適用するだけでも役立つ情報は多い。

日本の社会は、人と盲導犬の共生を豊かなものにしようと動き始めた。課題は盲導犬の数を確保することだけではない。盲導犬利用者は、犬の動きと役割をリアルタイムで把握

する情報伝達上の課題が克服されない限り、ハーネスを頼りに歩行訓練を始める初期の過程で過大な心身の負担を受ける。歩行者は、ハーネスを着けた犬の動きを把握する方法に慣れ、スムーズに路上歩行へと向かうために、自己の歩行の現状をモデル（模範者）のそれと比較するための情報を与えられねばならない。他方、歩行訓練を支援または指導する側も、何らかの方法で歩行者の身体的リアクションに関する情報をリアルタイムで入手するのが理想的である。もちろん歩行訓練に関する実際上の課題はこのようなものだけではないと推察されるので、現場の声の取材など幅広い見地からの取り組みが求められよう。

本稿では、犬具で人と結ばれた犬が直線歩行する場合について、上記三つの最終的な目標の大枠を見定めつつ、すべてに共通した診断内容が想定されている。今回とくに犬具の違いを診断するという新規の課題をわかりやすく説明するため、システムの最大条件ではなく最小限必要になる条件に注目した。したがって犬の単独歩行下での障害診断に関する部分は省略した。床反力計測とモーション・キャプチャーとを組み合わせ、人と同伴歩行する犬のデータを3次元的に動作解析し、そこから引き出される広い意味での歩行診断を簡潔にまとめた。人との相互作用を含めた犬歩行の運動学的および運動力学的診断の将来を展望した初めての試みである。

2. 快適な犬具をめざして

日常の散歩など犬具を用いる歩行において、犬と歩行者の両者が快適な気分で行動する必要性に注目する。たとえば、ふつうの首輪リードよりも胴輪リードが優れているところは歩行中の安定性であろう。そこで、このことを明確に示すデータを採って提示したいと考えた。実際の計測に用いたのは長いリード、短いリードおよびハーネスの3種類である。

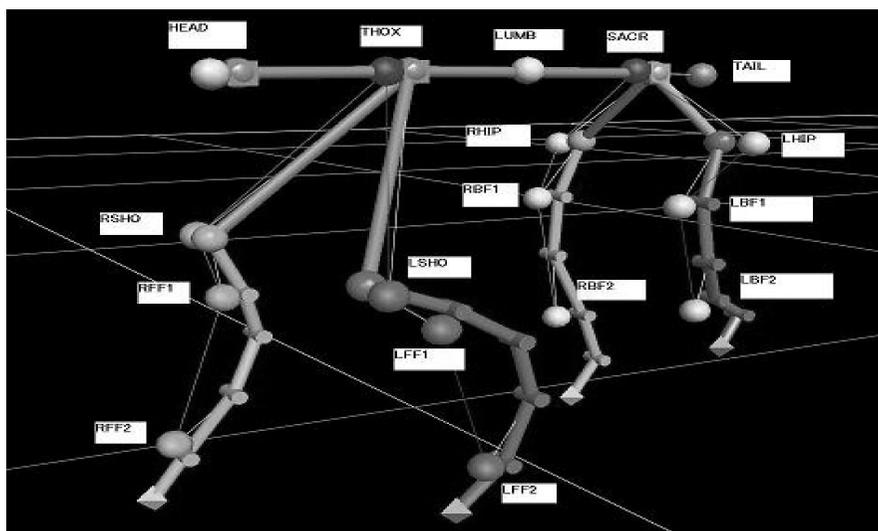
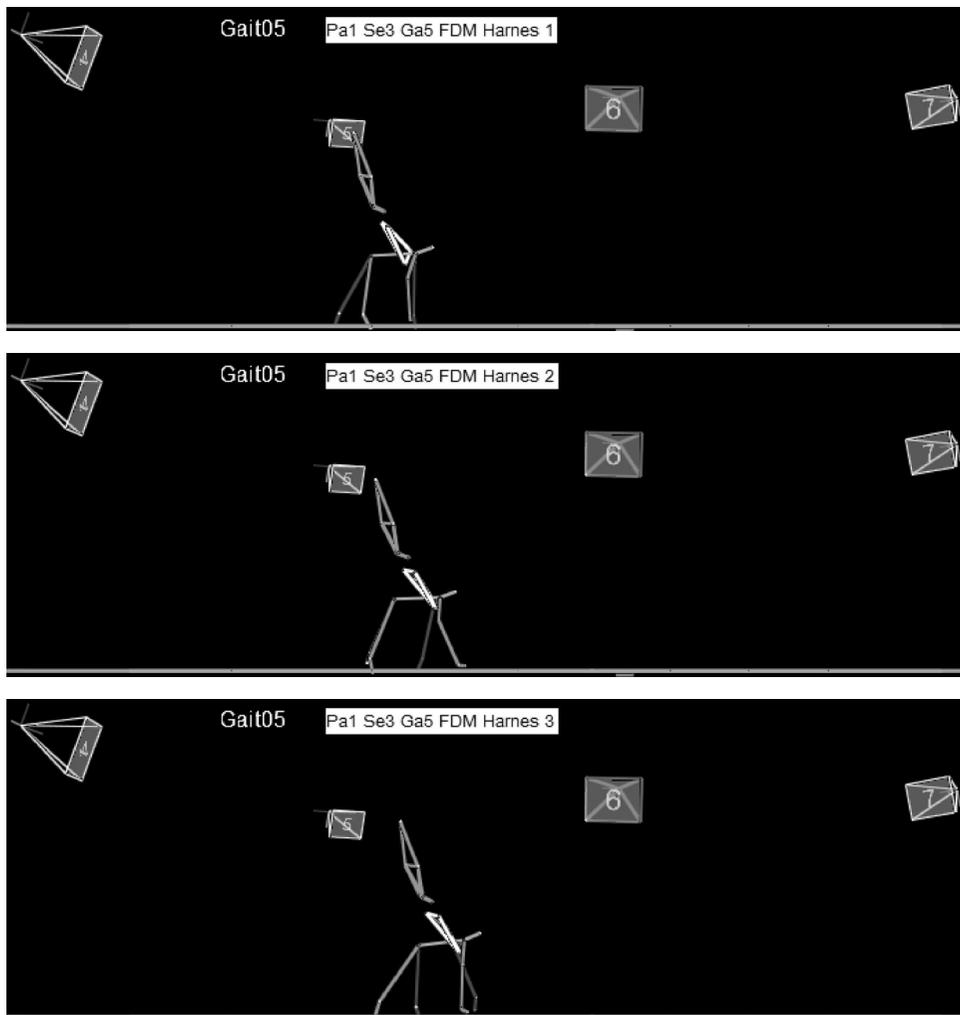


図1 反射マーカで形成された骨格

物言わぬ犬に関する情報は、8台のカメラがとらえる運動学的な視覚情報と複数枚の床反力計がとらえる運動力学的情報である。この二つの情報がソフト・ウェアにより3次元的に処理される。床反力計測データには歩行者との力学的相互作用の影響が反映される。一方、歩行者の運動学的情報は腕に着けた加速度センサーから、また生体力学的情報は筋電計の時系列データから分析可能である。これらを同時系列で見比べて明らかになる事実があることは十分考えられるが、今回はとくに簡明な結果を期すこととして、犬に対する光学的データと床反力計測の両データをソフト・ウェアで3次元解析した。注目したのは歩行中の犬の背中の線と床面内での床反力中心位置の移動で、使用した反射マーカークの数は21個以上である。

歩行中の犬具の張力の影響は、背中の線を水平方向からと真上からの両方から観察するとよくわかる。このうち水平方向から見たコマ送りパターンを図2に掲げる。図2はハー



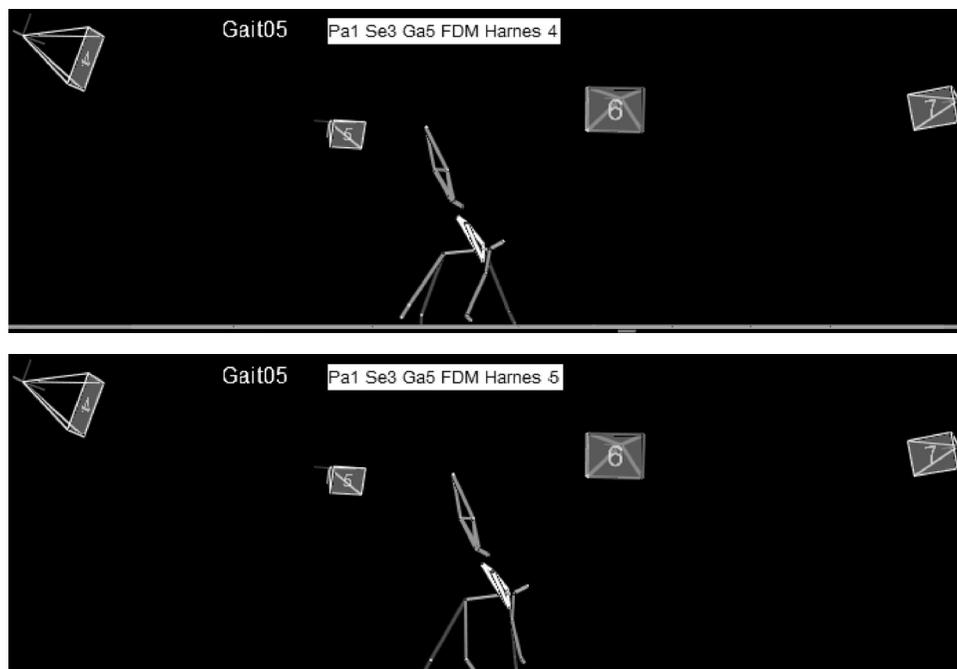


図2 Harnessを装着した同伴歩行5コマHarness1～Harness5を挙げる(約4コマで1サイクル)。低速歩行では、…右前脚→左後脚→左前脚→右後脚…という順番で四脚が運ばれる。

ネスを装着した歩行で、この場合、首部が腰部より常に高く保たれている。これはハーネスが好ましい張力を保ち、そのため歩行における安定性と情報伝達機能を具備することを意味する。そして体に密着した胴輪がハーネスに似た特徴を備えることが推測される。これに反して長いリード(LL)では腰部が首部より常に高く保たれ、短いリード(SL)では頭部が高くなったり低くなったり変化する。LLでは犬がほとんど自由に、SLでは時々自由に歩行する様子が見られる。

しかし、犬具の違いは運動学的データに表れるだけではない。本来、犬と同伴者は犬具を介して力の作用・反作用を及ぼし合う。それゆえ、同伴者からの力学的影響は無視できない。また、ハーネスのもたらす安定感は犬だけでなく同伴者にも及ぶと考えられる。このように犬具を改良するヒントについても示唆が得られる。

次に、ハーネスを装着した犬の床反力中心の移動パターン(真上から見たもの)とそれに対応するビデオ映像を図3-Aに挙げる。このソフトではパターンより少し遅れて実動画が進行する。紙面上を、向かって右から左へと歩行する足跡(パターン図3中の□印)と床反力中心の描く曲線を示す。同伴者は犬の右側(紙面上側)を歩いている。犬はハーネスを経て人を左向きに引き続けるため、その反作用でハーネスから右向きの張力を受け続ける。この間ハーネスの腕が張り続けるため、進行方向の前方(図左向き)へ運び出される脚が「左前脚→右後脚」または「右前脚→左後脚」と推移するときに起きる床反力中

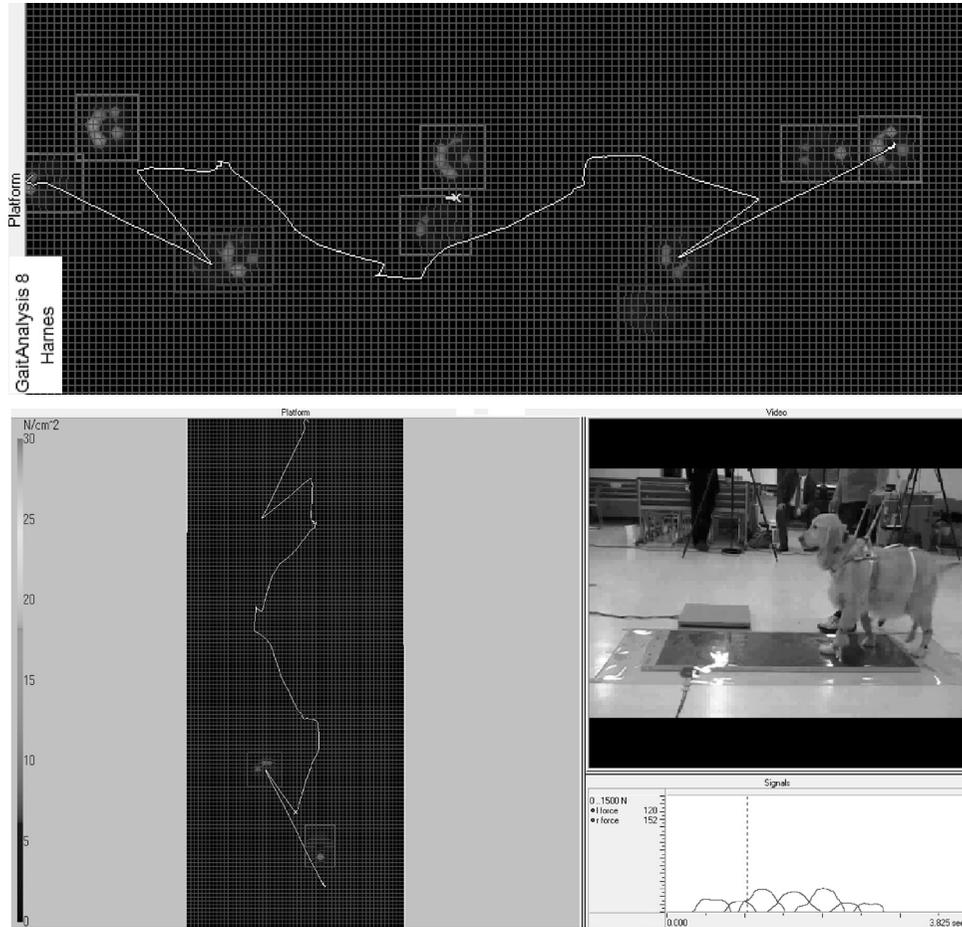


図3-A ハーネス装着の歩行2サイクル分の床反力中心位置(上と下左図)。下右のVideo映像の歩き始めは、右前脚(着板)→左後脚(板外)→左前脚(着板)→右後脚(運び上げ中)という順で脚が運ばれている。下左の床反力中心線パターンにはこのうち3歩目までの着板した足跡2つが見えている。映像ではまだ右後脚が出切っていない。右下のグラフは床反力の大きさの時間推移で、時間(sec)–反力(N)グラフの中には床反力の小山が歩数だけ見える。

心位置の後退は鋭い棘を描く。また、人はハーネスを斜め上方向に引いているから、その反作用は斜め下向きに生じる。ハーネスの場合、この張力の鉛直成分は大きいけど水平成分が小さいため、真上から見た水平方向の後退パターンは斜め横にはみ出すようにして鋭く尖る。しかも、それぞれ右2脚、左2脚を床に着ける間に、体幹はそれぞれ右、左と大きく揺れている。

次に、図3-Bは長いリードLLの首輪を装着した場合である。犬は人と離れて歩くためリードが水平に近づくが、同時に張力の大きさは小さくなるようである。犬は歩行者から心理的に大きな影響を受けず、比較的まっすぐに進んでいることが図3-Bのパターンから読み取れる。図3-Cの短いリードSLでも似たパターンが表れる。

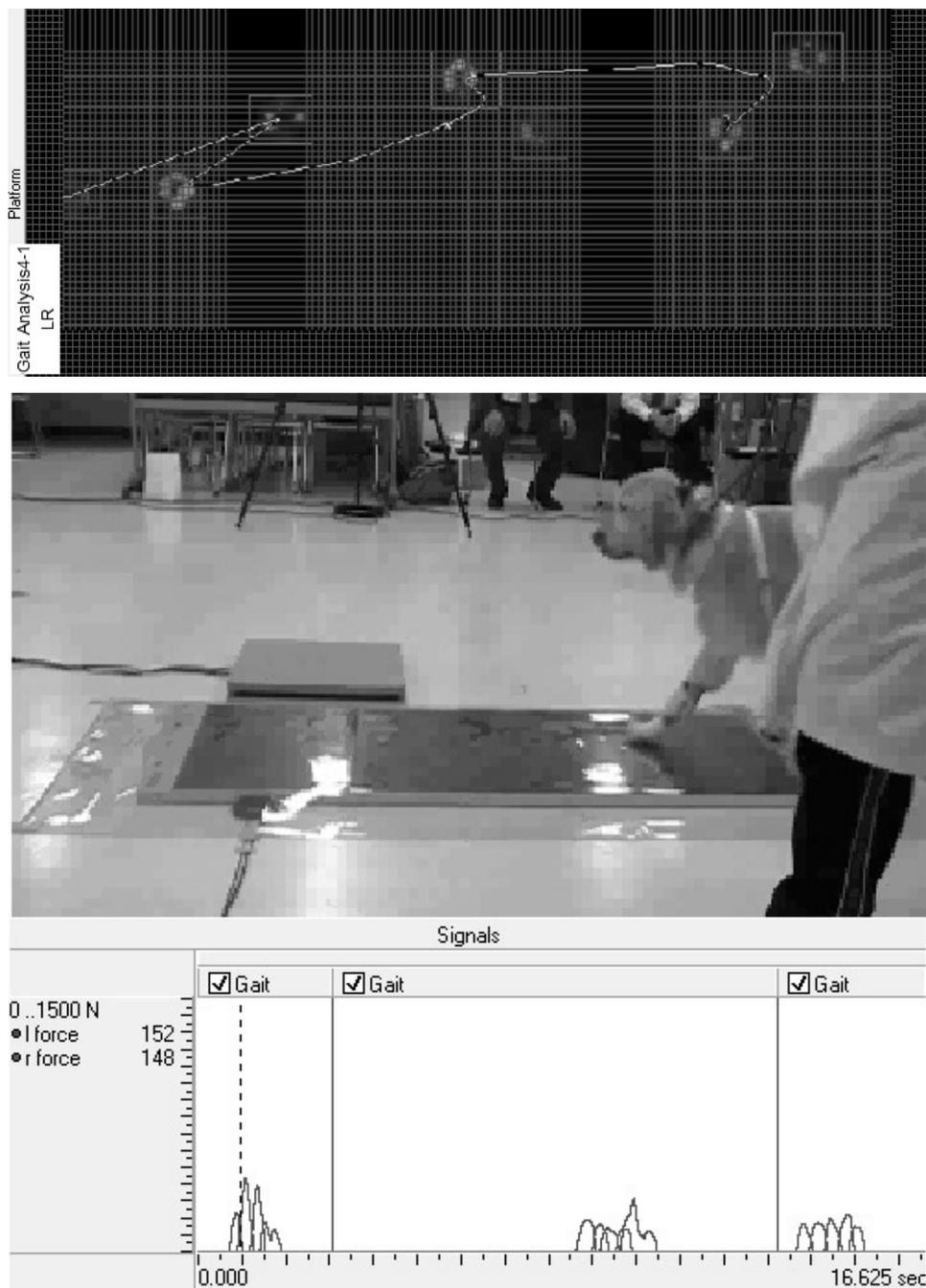


図3-B LL（長いリード“Long Lead”を略記した）を装着した歩行2サイクル分の床反力中心のパターン。（映像には、左前脚→右後脚→…の最初の第一歩だけが見えるが、パターンは次に右後脚が出てくることを示している。）下のグラフは床反力の大きさの時間推移を示す。

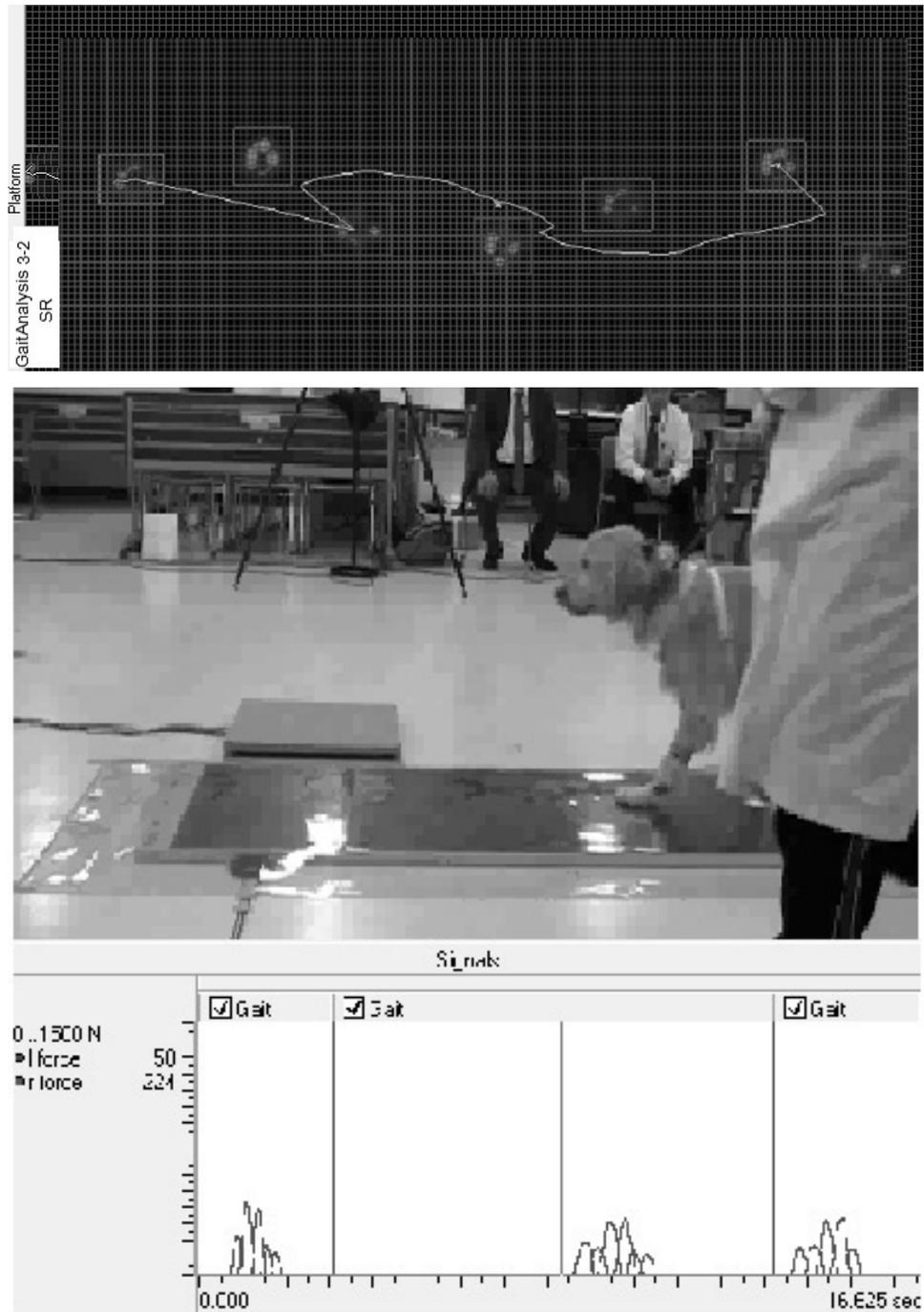


図3-C 歩行2サイクル分を表す、ハーネス、LL、SLを装着した各歩行の床反力中心位置。(低速歩行では、右前脚→左後脚→左前脚→右後脚という順番に脚が運ばれる)

3. 歩行訓練者と指導者に有益な情報

盲導犬とハーネスを用いて日常歩行する人は、初期の歩行訓練で、ハーネスの握り棒を通じて犬の動きを把握する練習を繰り返す。歩行中は一瞬たりとも情報入手を中断することはできない。盲導犬の動き方を学習して生活道路での歩行段階へ移行するために、訓練中の歩行者は、歩行者自身と模範歩行者の表面筋電情報を適切な言語または信号で比較して伝えて貰わなくてはならない。初めて盲導犬と接し、その能力と機能の助けを借りて歩行する人は、盲導犬とハーネスという道具との関係に気を配ることになる。歩行訓練の習熟をめざすには、盲導犬とハーネスのいずれの情報も重要で、両方の的確なりアルタイムでの授受が欠かせない。

通常は音声による助言を通じて歩行訓練をするのであるが、より良い指導助言を達成する条件は、与えるべき重要な情報が歩行者自身の身体のなかにあることに気づくことである。すなわち、筋肉の中で起きている変化を情報化して歩行者に与えるならば、ハーネスを握った腕や肩の力を上手に緊張させたり緩めたりして歩行の対応がとれる。この情報を活用することが指導者にもっとも必要とされていることである。今回の計測で、ハーネスにかかる張力はリードより以上の安定性をもたらしていることが理解された。おそらく将来の望ましい教育指導システムは、歩行者の筋電情報を何らかの方法で歩行運動と関連付けることであろう。盲導犬を初めて扱う人にハーネスの使い方を指導する立場に立つとき、利用者が緊張しすぎるのを逸早く察知して克服させ、その使い方に慣れるよう、模範モデルを的確に指示する方法は音声によるものであろう。

一つの発展の方向性として、歩行者の筋電情報を犬の動きと並行して、音声または信号により歩行者に伝える教育システムの確立をめざすことが考えられる。このような条件を満たす教育システムを作り上げる意義は大きい。

4. 求められるシステムの条件

歩行に関するデータと盲導犬を使った歩行訓練システムの満たす要件との関係は本論での議論の主目的ではない。これについても訓練システム開発の方向性を考察する意義は決して小さくないので、2008年10月25日―26日のバイオメカニズム学術講演会で着想を発表した。ここでは盲導犬やペットとの生活歩行の場合の広い意味での診断について、人と犬に分けて詳しく考察した結果を記しておく。

盲導犬のような比較的小となしい犬の場合でも、実際の歩行そのままの状況下で計測を行う要求が強いと考えている。そのため訓練の最初または診断中は、筋電計や加速度センサーの電極を装着するのは人だけに限定するほうがよい。このことは、モーション・キャプチャーと床反力計測が犬に関する重要な情報を3次元動作解析し提供してくれる、その長所にあやかる最大の理由となる。

同伴歩行者の歩行に関する情報は、人体またはその一部を一つの運動体として見た運動

学的情報と身体内部の情報とに分けられる。前者の情報は身体表面に加速度センサーを取り付けて観測される。一方、身体内部の情報は同じ身体部位に取り付けた表面筋電計の電極から取り込まれる。歩行指導者または診断者は、これらの情報の時間推移をデジタル・グラフで同時系列的に観測するだけであり、作業の負担はそれほど大きくない。システム開発の中心課題は、犬の歩行に関する情報とつなぎ合せて解析し教材化する、あるいは診断をパターン化することである。盲導犬の場合は、モデル歩行と本人の歩行との違いを幾通りかの克服シナリオにパターン化して、音声ガイドとして編集すると便利ではなかろうか。

5. 今後の課題

本論ではゴールデン・レトリバーが同伴者と並び散歩するような場合の広い意味での診断を想定して、比較的簡単な分析事例のみを報告した。用いた犬具はハーネス、長いリードと首輪および短いリードと首輪であり、計測法は床反力計測とモーション・キャプチャーとを組み合わせる方法である。広い意味での診断対象とは、犬の歩行障害の身体的内因、犬具が犬と人の歩行に及ぼす影響、および、犬と歩行者の両者の歩行データ間の相関関係である。ゴールデン・レトリバーのほかにも散歩様歩行に床反力計測と3次元動作解析を適用したい犬種には、ビーグル、シェットランド・シープドッグ、ミニチュア・ダックスフンドなどがある。これは、犬の体躯の大小や気性の違いなどが歩行時の犬と人の位置関係、歩行パターンや装着する犬具にどう影響するのかを調べたいからである。そのほかに、同伴歩行者の犬具を持つ腕の加速度、その同じ腕の筋肉から採る表面筋電データなども重要な情報であると考えている。なぜなら、これらのデータを同時系列的に犬の歩行データと並べて分析することで、広い意味での診断内容がより正確になるからである。

ここに報告した運動学的および運動力学的計測と分析は、犬具で人と結ばれた犬が直線歩行する際、犬具の違いが計測データにはっきり表れることを示している。今回は同伴歩行者の歩行データが計測対象になっていないにも拘らず、犬具による力学的相違が検出された。このような分析が可能となる理由は、犬に関する3次元動作解析に床反力計データが含まれているため、犬具にかかる張力が犬の床反力中心に影響を与えるからである。これに基づいて、今後は犬の歩行に関係した病気の診断、犬具の快適性の診断、および盲導犬使用者の初期訓練に役立つデータの確保をめざしたいと考える。

謝 辞

ハーネスの改良に役立つ力学を検討するよう古川敏紀教授から山本に話題提供があったのは、2006年度末、今から2年半以上も前のことである。その激励が同伴歩行を診断する方法の検討に取りかかる動機を与えた。同伴者に筋電計を活用する意見に対しても前向きな評価を示していただき、また3次元動作解析・床反力計測ソフトウェアの存在も教えられた。そのソフトはインターリハ(株)から使用許可が与えられた。著者はこれらの要因に本研究の負うところが大きいと考え、ここに感謝の意を表したいと思う。

参考文献

- 1) David Levine, Darryl L. Millis, Denis J. Marcellin-Little and Robert Taylor: *Rehabilitation and Physical Therapy* (SAUNDERS, 2005).
- 2) 山本 健治：歩行用犬具の初期使用時における人の表面筋電情報の活用に関する研究，第29回バイオメカニズム学術講演論文集（広島，2008，Oct.）.
- 3) 山本 健治：映像・加速度データ・筋電情報を組み合わせた人と犬の歩行計測システム，第29回バイオメカニズム学術講演論文集（広島，2008，Oct.）.

Diagnostic for Rightness of Dog Collar and Leash, and for Training Beginner's Walking Accompanied by a Guide Dog.

Kenji YAMAMOTO, Ayumi KIMURA, Shiho NISHIO and Ryuhei FUNAI

College of Life Science,

Kurashiki University of Science and the Arts,

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

(Received October 1, 2009)

We discuss how to diagnose a personal walking accompanied by his or her dog, as a kind of taking the dog for a walk. There are three objects at our goal of the diagnostic. The first is to check for rightness of a dog collar, together with a leash, i.e., short or tight lead and lead wire for a house dog, and a harness for a guide dog, respectively. The second, for training beginner's walking accompanied by the first guide dog. This paper deals with the above mentioned two objects. The third, diagnostic of a walk impediment of one's dog, is to treat on the next coming paper.

Several-time walking of one Golden Retriever, together with the movement of her harness and collars, is measured. Those data are analyzed in three dimensions using the VICON software system with the floor measurement device that catches reaction force.