

卒業論文

健康増進用馬ロボットの制御を目的とする

生馬の歩行パターンについて

高知工科大学 知能機械システム工学科

1010142

菅野 正人

2000年 2月

目次

第1章	序章	1
1.1	乗馬による健康増進	1
1.1.1	室内用乗馬ロボット	2
1.1.2	室内用乗馬ロボットの長所と短所	3
1.2	本論文の意味	4
1.3	本論文の構成	4
1.4	乗馬医療の歴史	5
第2章	歩様	13
2.1	はじめに	13
2.2	常歩	13
2.3	速歩	16
2.3.1	斜対歩	16

2.3.2	側対歩	18
2.4	駈歩	19
2.4.1	右駈歩・左駈歩	19
2.5	襲歩	21
2.5.1	交叉襲歩	21
2.5.2	回転襲歩	23
2.6	手前	24
2.7	合図	25
2.7.1	常歩から速歩	25
2.7.2	常歩から駈歩	26
2.8	おわりに	26
第3章	骨組み	27
3.1	はじめに	27
3.2	前肢の骨格	27
3.2.1	肩甲骨	29
3.2.2	上腕骨	29
3.2.3	前腕骨格	30
3.2.4	手根骨	31
3.2.5	中手骨	31

3.2.6	指骨	32
3.3	後肢の骨格	35
3.3.1	大腿骨	35
3.3.2	下腿骨	37
3.3.3	足根骨	39
3.3.4	中足骨, 踵骨, 種子骨	39
3.4	おわりに	41
第4章	結章	42
4.1	本調査の成果	42
4.2	今後の展開	43
参考文献		44
謝辞		45

第1章 序章

本論文は、健康増進を目的とする野外用乗馬ロボットについて、乗馬医療の基礎となる、生馬の歩き方と骨の仕組みに関する調査について述べたものである。そのため本章では、まず、室内用乗馬ロボットの健康増進について、次に、室内用乗馬ロボットによる乗馬の問題点と本調査の意義について説明し、最後に、本調査の概要と本論文の構成についてまとめる

1.1 乗馬による健康増進

乗馬による健康増進は、乗馬医療と呼ばれている。乗馬医療の効果は、馬のリズミカルなスウィングと三次元の揺れが、人間の体と脳に一定の理学的効果をもたらし、脳幹が刺激され、筋肉の発達、血液の循環を助け、筋肉運動の整合や、姿勢、平衡感覚、移動感覚、各部の機能をも向上させ、健康全般を促進する。

また、騎乗時に受けるフィード・バックの影響は絶大である。

右の手綱を引けば右に曲り，両方の手綱を引けば停止する．何もしなければ，何も起こらない．一つの行為が一つの反応をもたらす．こうした反応を経験することによって，乗り手は身体的・精神的満足感を覚える．

1.1.1 室内用乗馬ロボット

しかし，実際に乗馬医療を行うためには，いろいろな条件，制約がある．まず，馬を生育，維持するためのコストと場所が必要となってくる．次に，馬を調教し，乗馬の訓練を教える専用インストラクターが必要である．

これらの条件を克服し，生馬の乗馬医療にない効果を生み出したのが，木村哲彦教授によって提案され，松下電工が開発した室内用乗馬ロボット（図1）を利用して，王ら研究グループによりその有効性を示している．実際に実験を行い多くの被験者が腹筋，背筋，歩幅などの健康増進につながった．



図1, 室内用乗馬ロボット

1.1.2 室内用乗馬ロボットの長所と短所

これにより室内での乗馬医療が可能になり, 馬を生育, 維持できない狭い場所での医療が受けられるようになった。また, 機械制御によって繰り返し同じ負荷を与えることができ, 一人一人の健康状態, 身体状況に応じた最適負荷を与えられる。また, 患者のデータを蓄積し, 医療解析することも可能であり, 健康増進の実効果を定量的に評価できる。だが, 室内での乗馬医療は固定された乗馬ロボットであるため, 本来の生馬による前に進む速度効果が失われ, 騎乗時に受けるフィード・バック効果も失われている問題がある。また, 被験者の多くは乗馬医療を野外でも行いたいという希望が出てきた。

1.2 本論文の意義

室内用乗馬ロボットの特長を野外での乗馬ロボットに残し、乗馬医療を行うためには、揺れがとても重要になる。(1.1 参 章) そのため、生馬と同じ動きと強度が必要である。本論文では野外で歩行できる乗馬ロボットを開発するために生馬の歩行パターン、骨組みからの強度を調査する。

1.3 本論文の構成

本節では、本論文の構成とその具体的な調査内容について説明する。

第2章では、常歩、速歩、駈歩、襲歩の、四種類の生馬の歩様と、手前や合図について調査する。歩様ごとに簡潔な説明と特徴を述べ、最後に野外用乗馬ロボットについてどの歩様が適しているかまとめる。

第3章では、肢についての骨組みを調査する。まず、前肢の骨格に付いて他の動物と比べ、馬の骨格の特徴を述べ、側方からみた骨の名前を述べ、関節、骨ごとの特徴を説明する。次に後肢の骨格に付いて述べ、関節、骨ごとの特徴を説明し、最後

に野外用乗馬ロボットを製作する際，どこの強度が必要か関節に述べる．

最後に第4章を結章として，本調査により得られたことや，今後の課題などをまとめる．

1.4 乗馬医療の歴史

健康増進として注目されている乗馬医療．では，だれが考え，どのように普及されてきたかなど，その歴史を述べる．

古代ギリシャ時代にはすでに障害を持った人が馬に乗るといふ試みがなされていた．障害者がいつから，どのようにして馬に乗るようになったのかまでははっきりしないが，ギリシャで発見された文献に「紀元前5世紀，戦争で傷ついた兵士を馬に乗せることで治療した」と記されている．馬は，人類のいかなる時代においても，単なる輸送や移動の手段としてのみならず，苦痛を緩和し障害を軽減する有効な手段として利用されている．

Riding for the Disabled = 「障害者のための乗馬」という言葉を最初に用いたのは，20世紀初頭におけるDアグネス・ハ

ントとオリーブ・サンズという二人の英国人だった。ハントは1901年にオズウェストリー整形外科病院を創設。サンズは理学療法協会の会員で、第一次大戦で兵役に就き負傷。この経験から「戦線へ復帰することに不安を抱く負傷兵たちも、乗馬によって自信を回復することができるのではないか」と考え、自分の馬を病院へ持ち込み兵士たちを乗せたのがきっかけだ。二人とも障害者乗馬が多くの人に希望をもたらすことを信じ、将来一般に認知されることをひたすら願っていた。彼らの信念が間違いなかったことは、今日までの多くの事例が証明している。

とりわけリズ・ハーテルの偉業は特筆に値する。彼女は両足麻痺というポリオ障害を克服したのみならず、1952年のヘルシンキオリンピックの馬術競技へ出場。そしてドレッサーージュで、みごと銀メダルを獲得したのだ。実はこのオリンピックで、初めて男女とも同じ条件で競技を行なうことになった。ハーテルにとっては、その条件でさへなお健常者と同等ではなかったが、それでも彼女はすばらしい活躍を見せて世界中から賞賛された。

ハーテルの影響は絶大だった。ノルウェーの理学療法士で乗馬経験も豊富なエルスベス・ボッスカーも、ハーテルの快挙に障害者乗馬の可能性を見出した人物だった。彼女はさっそくコ

ペンハーゲンの理学療法士ウルラ・ハーボスと共に自分たちの患者に乗馬を勧め、治療の一手段として活用し始めた。そして間もなく、障害者乗馬が多大な効果をもたらすことを痛感した。

ボッスカーと親交のあったノラ・ジャックスは、同様の試みをイギリスにも定着させたいと考えた。彼女はまず患者を自宅の裏庭で馬に乗せることから始め、後に『障害者乗馬信託』を設立。当時の主任インストラクターだったジョン・アンソニー・デービスは、今ではこの分野の世界的権威となっている。

英国ブリストルにあるウィンフォード整形外科病院の院長ステラ・セイウェルもこの分野の第一人者だ。ここは1948年に障害者乗馬の施設として公式な指定を受けた最初の病院だ。ジリアン・ピーコック博士は今なお障害者乗馬に取り組んでいる。彼女はRDA（障害者乗馬協会）の活動に携わりながら、一方ではフォーチュン乗馬治療センターの顧問委員会議長を務め、医療団体と障害者乗馬の現場との橋渡しの役割を果たしている。このように障害者乗馬は多くの国々において熱意ある人々の尽力によって発展を遂げている。

1964年、イギリスで障害者乗馬の先駆者たちが一堂に会し、障害者乗馬顧問委員会が結成された。これが1969年になってRDA(障害者乗馬協会)へと発展する。

RDAは公認慈善団体の規約に基づいて、個々のセンター単

位で活動している（この点はアメリカと異なる）。R D Aの支部は国内に727、国外にも旧英国領を中心にオーストラリア、カナダ、ニュージーランドなど世界各地で展開している。本部は英国で、総裁をアン王女が務めている。

活動の特徴として、R D Aが登録ボランティア団体であり、スタッフの確保からスポンサーシップに至るまで、ほとんど独自で運営している点にある。行政や医療や学校などと対等に、横の連携によって人材や情報の交流が成り立っている。さらに注目すべきは障害者乗馬活動が医療保険の対象となっていることだ。R D A認定のインストラクターが指導する乗馬レッスンは保険が効くのだ。それはインストラクターの質を保つ一方で、障害者乗馬の現場への医師や理学療法士の参画をも容易にするものと推察される。

R D Aの活動はボランティアとして参加するヘルパーを抜きには語れない。センターが義務づける人員を確保するには、政府の援助だけでは不十分だからだ。言い替えれば、障害者乗馬は障害者に奉仕したいという気持ちを持ったボランティアによって成り立っていると言っても過言ではない。幸いなことにボランティア活動は近年ますます活発化し、多様化している。だが一方で乗馬を始めたいという障害者の数も増加しており、ボランティアの数はまだまだ足りないというのが現情のよう

だ。

米国の障害者乗馬はヨーロッパとは異なる形で発展した。概略を述べれば、治療的效果に重きを置くのではなく、障害者でも取り組めるレジャーあるいはスポーツといった色彩が強い。米国における障害者乗馬はすでに1960年代には存在していた。当時は、自分の馬と時間を提供しようという献身的な人たちが各個に活動していた。やがてそれらが統括され組織化されるにつれて、障害者乗馬も大きな発展を遂げることになる。もっとも有名な障害者乗馬の団体はNARHA（北米障害者乗馬協会）だ。NARHAは1966年に、馬事新聞の編集者だったアレキサンダー・マッコーエンと、英国シグウェルセンター職員のジョン・A・デービスの両名によって創設された。やがて米国のさまざまな団体が活動を支援するようになり、安全性の基準が作られ、メンバー相互の情報交換の場として有効に機能するようになる。NARHAの具体的な活動内容としては、優秀なインストラクターの訓練および認定、安全と運営に関する独自の基準を満たした施設の認定、治療のために必要な馬の科学的な研究などが挙げられる。さらにNARHAは、1989年の時点で461ヶ所を数える活動センターとその管理者および事務員に対して、包括的な保険機構に入れるようにした。この措置は、米国において頻発し得る訴訟問題を考えると、特

に重要なポイントだったと言えるだろう。

アメリカの障害者乗馬の歴史を語るとき、1967年にモーディー・ハンター・ウォーフェルが創設したHHFTH（障害者の楽しい乗馬の集い）に言及しないわけにはゆかない。その目的はいたって単純で、「障害者が乗馬を楽しむこと」だ。その手法も、技術論を重視するのではなく、馬や環境全体に目を向けている。治療効果はあくまで結果であり目的ではない。この団体には何人もの有名な人物が所属している。中でもアリゾナ州ツーソン在住のデーブ・トレックスラーは、両足を失っているにもかかわらずウェスタン乗馬の名手として、全米にその名を知られている。

NASCP（米国立脳性麻痺者スポーツ協会）は、全米脳性麻痺者協会の支部として1976年に設立され、脳性麻痺関連の障害者がスポーツをする場を提供している。そこでは障害の種類や程度によって競技者を分け、オリンピックを規範に、馬術を含めたさまざまな競技会を開催している。各競技会では、意欲ある障害者の参加が年々増加している。

NASCPが肢体不自由者を対象とするのに対して、スペシャル・オリンピックスは知的障害者のためのスポーツ運営機関だ。現在は全米36州で約4,000人の障害者が練習に励んでいる。訓練を終えたインストラクターは現在750人。加え

て世界12ヶ国から競技者が加わっている。ここではドレッシングの他にも、バレルレースやリレーなど様々な競技が行なわれている。それぞれ引き馬によるものと単独騎乗によるものと二通りあり、馬の種類や外観ではなく、競技者が自分の馬をどれだけアピールできるかが重要視される。さらにチームで行なう団体種目もいくつかある。

1976年に設立されたデルタ・ソサイエティーは、人と動物と環境の関係についての教育を行なっている国際的機関だ。馬の部門は広範な事業の一部分に過ぎないが、諸会議や出版物を見るかぎり、障害者乗馬が強い関心を集めている様子がうかがえる。デルタでは、治療目的の乗馬に毎年2つの賞を贈っている。一つは模範的なプログラムに対して、もう一つは優れた馬に対してだ。さらにマッカロー記念賞というものがあって、人と人、あるいは人と動物の相互理解を深めるのに寄与した者を表彰している。最近では、1989年にコロラド州リトルトンのマリー・ウールバートンにこの賞が贈られた。彼女はベトナム戦争の退役軍人に乗馬を奨励するという先駆的な業績を残した人物だ。

もうひとつの全米的な組織がアメリカ4H青年クラブだ。これは1900年代初頭に農家の青年を農事的・社会的活動に奉仕

させるために組織されたものだ。4 H 青年クラブと障害者乗馬の関りは、1970年にミシガン州立大学の公開講座で行なったプログラムを、ミシガン州が率先して採用したことに始まる。現在はペンシルベニア州を筆頭に各地の4 H 青年クラブが、積極的にそのプログラムを取り入れている。ペンシルベニア障害者乗馬会議では、季刊紙を発行しながら全米の障害者乗馬に携わる人々のための教育セミナーやインストラクターの養成を行なっている。

第2章 歩様

室内用乗馬ロボットは1種類の歩き方をベースにプログラムを組んでいるが、生馬の歩き方では大きく分けて4種類ある。本章では生馬の基本となる4種類の歩き方を述べる。

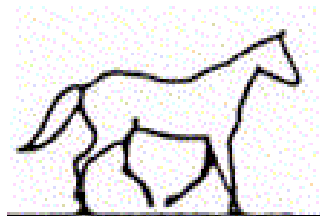
2.1 はじめに

馬の歩き方、走り方を歩様と言う。馬の歩様は大きく分けると4種類あり、常歩（なみあし）、速歩（そくあし）、駈歩（かけあし）、襲歩（しゅうほ）と分別されている。並歩から襲歩へと順に速さが増していく。

2.2 常歩

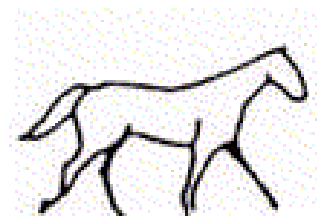
英語の「WALK」にあたる。人間が歩いている状態と同様の、ゆったりとしたスピードのない歩様。馬の肢運（あしはこび）は、左後肢、左前肢、右後肢、右前肢と、順に離地と着地を繰

り返す。(図, 2) リズムは, 「1, 2, 3, 4」の4拍になる。
 (図, 3) もっとも基本となる歩様で, ゆったりと1肢ずつ肢
 運をするうちに, 馬体の筋肉がほぐれ, 運動のウォーミングア
 ップになる。そのため, 乗馬を行う時は必ず, この常歩を十分
 に行ってから次の運動を始めなければならない。人間がハイハ
 イをしても全く同じような歩き方になると思われる。速さは1
 分間に110mほど。



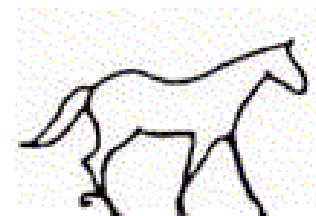
左後肢を前に出す。

左前肢が離地する。



左後肢が着地。

左前肢が前に出る



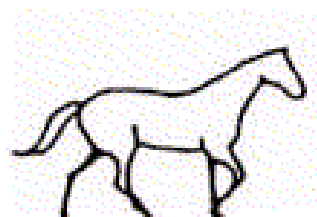
左前肢が着地。

右後肢が離地する。

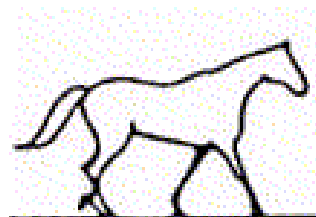


右後肢が着地。

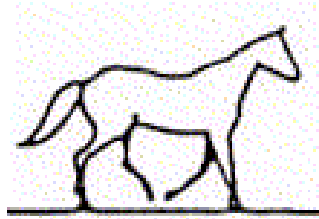
右前肢が離地



右前肢が前に出る。



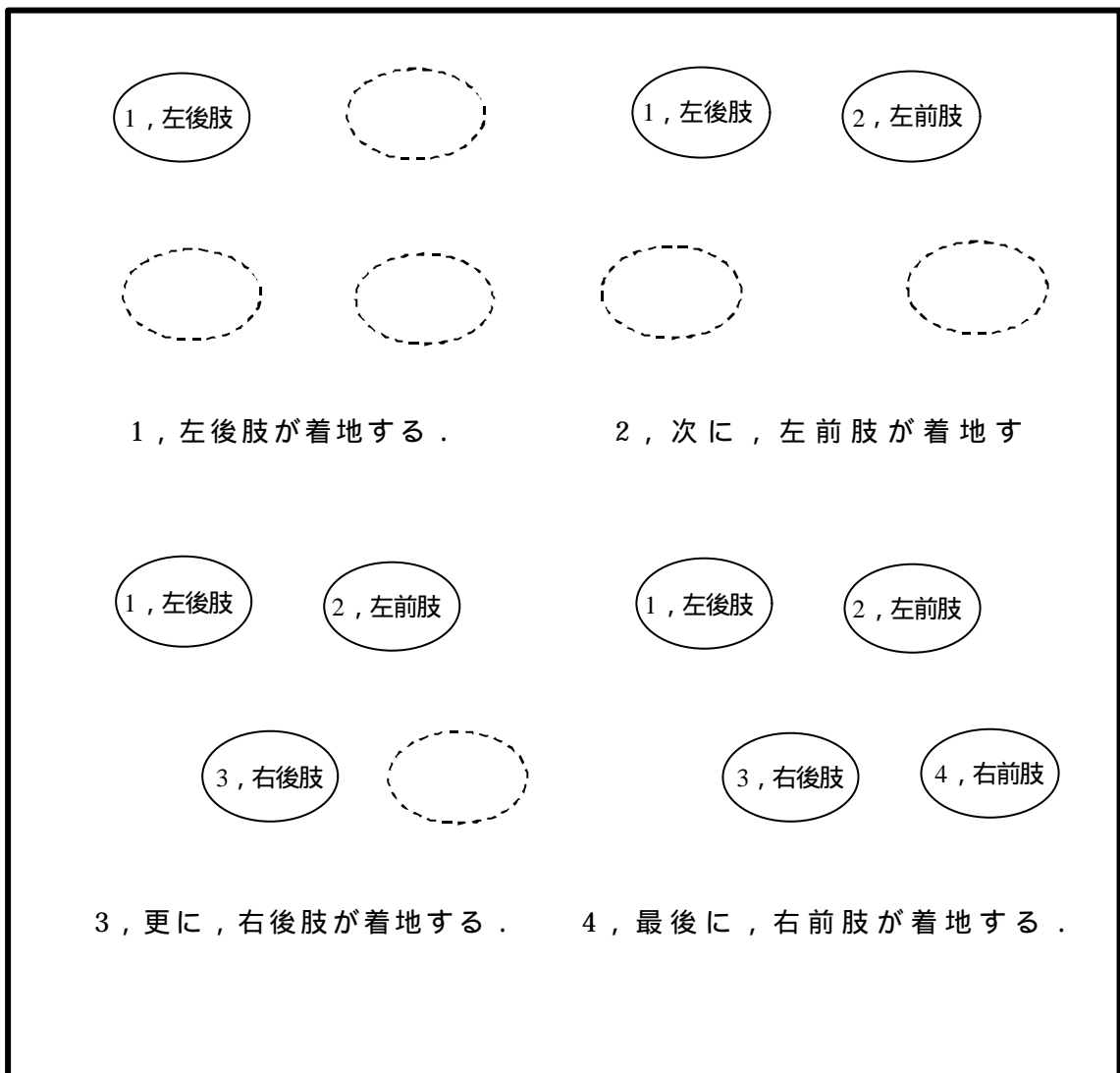
左後肢が離地する。



左後肢が前に出る。

図, 2 常足

左前肢が離地する。



図, 3 常歩の足あと

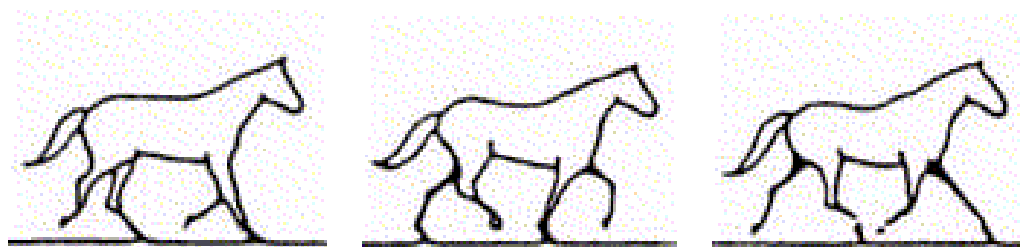
2.3 速歩

英語で「TROT(トロット)」と言う。この歩様はさらに斜対歩(しゃたいほ)と側対歩(そくたいほ)に分けることができる。速さは1分間に220mほど。

2.3.1 斜対歩

斜対歩というのは対角線の脚をペアにして行う歩様で、右前と左後(左前と右後)を同時に離地、着地させる。

ほとんどの馬は斜対歩で速歩を踏むと思われる。また、速歩は2拍のリズムを刻むが、騎乗者が一拍毎に腰を挙げて、馬の背中が上下動するのを和らげる乗り方を軽速歩という。



右後肢と左前肢

が離地する。

右後肢と左前肢

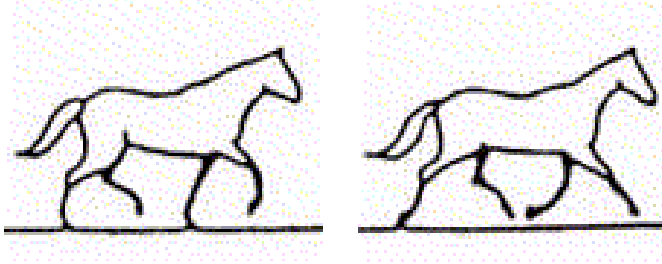
が前に出る。

右後肢と左前肢

が着地する。

左後肢と右前肢

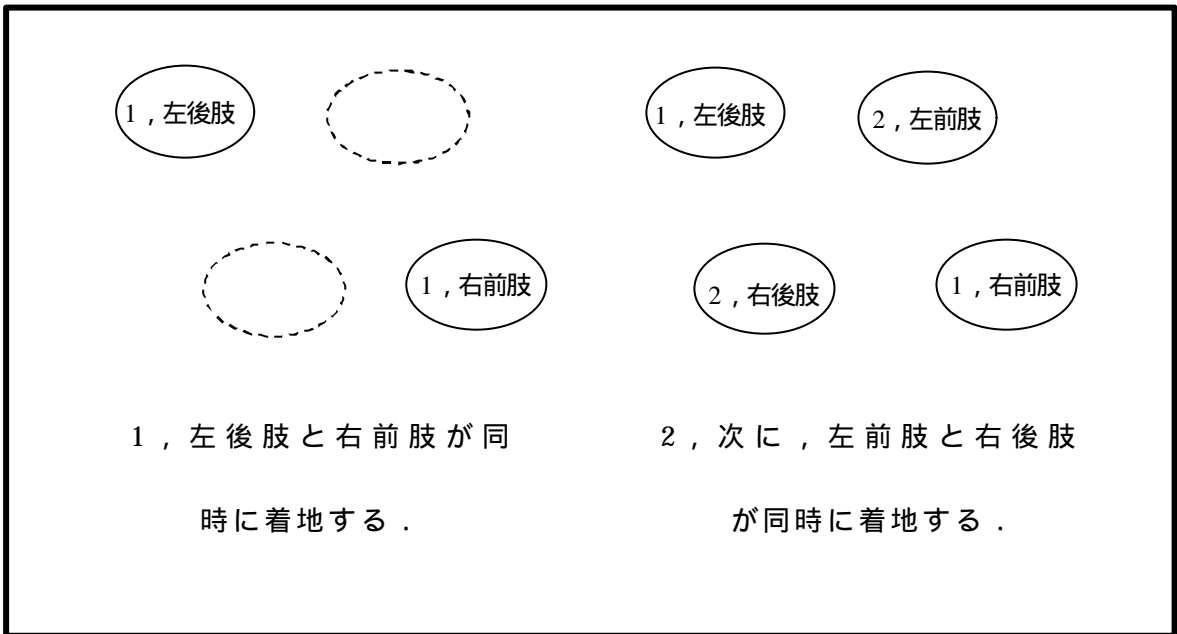
が離地する。



左後肢と右前肢
が前に出る。

左後肢と右前肢
が着地する。

図, 4 斜対歩

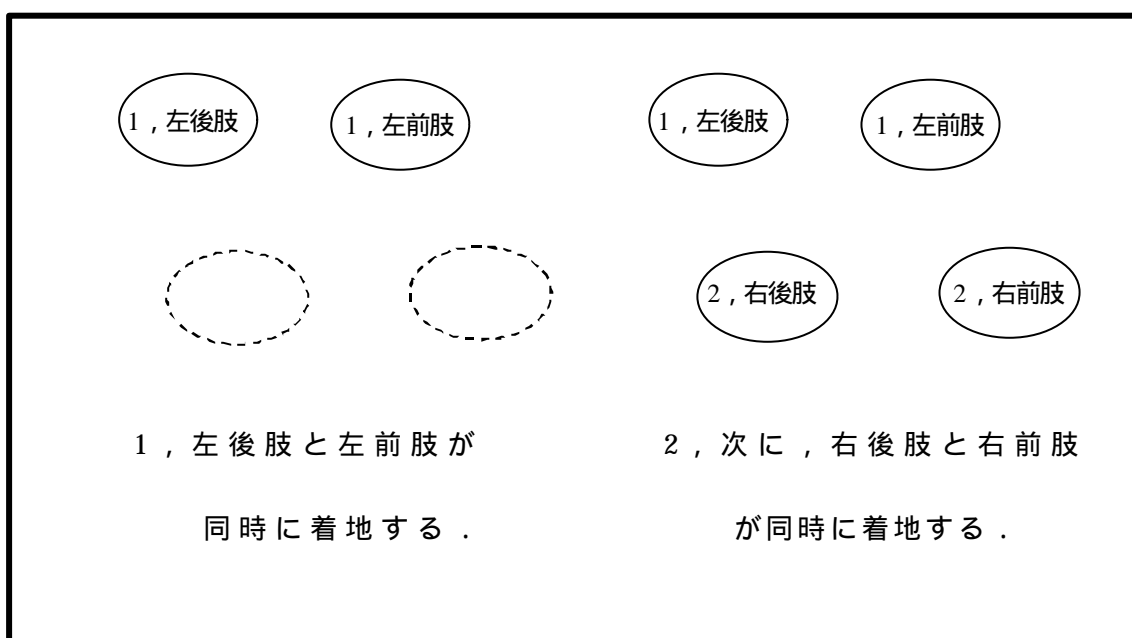


図, 5 斜対歩の足あと

2.3.2 側対歩

側対歩（PACE）は同じ側の脚をペアにして行うもので，右前と右後（左前と左後）を同時に離地，着地させる．象やらくだ，キリンにとってはあたりまえの歩様だが，馬には珍しく，ドサンコや木曾馬，テネシーウォーカーなど一部の品種に見られる歩様．

側対歩には馬の背中中の上下動が少ないという特長がある．この歩様は，馬の背中に荷物を積んだり，馬車を引いたりするのに適している．荷崩れしたり，馬車の揺れが少なくなる．そのため，馬に側対歩を教え込んだりすることもある．



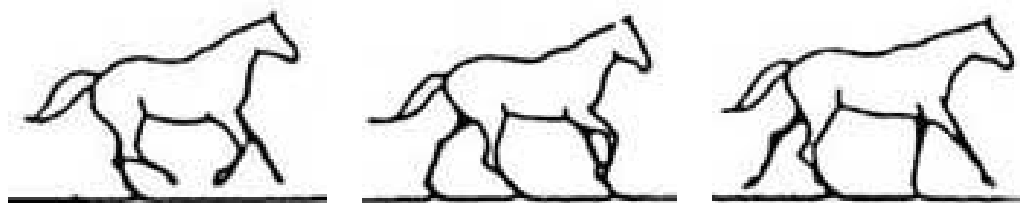
図，6 側対歩の足あと

2.4 駢歩

英語で「CANTER (キャンター)」と言う。馬が躍動するよ
うに走って、4肢が宙に浮く瞬間があるくらいのスピードが出
る歩様。馬の疲労は最も大きく、それほど長い時間駢歩を続け
ることはできない。速さは1分間に330mほど。

2.4.1 右駢歩・左駢歩

右駢歩と左駢歩があり、右駢歩の場合、まず左後肢が着地し、
次に右後肢と左前肢が同時に、最後に右前肢となる3節運歩で
右前肢がリードする走り方。左駢歩はその逆である。

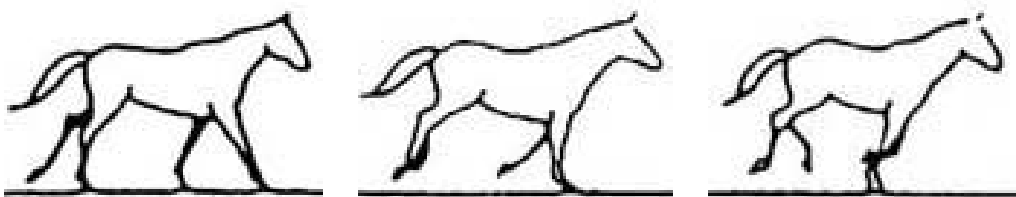


左後肢が着地
する。

左前肢と右後肢が
着地する。

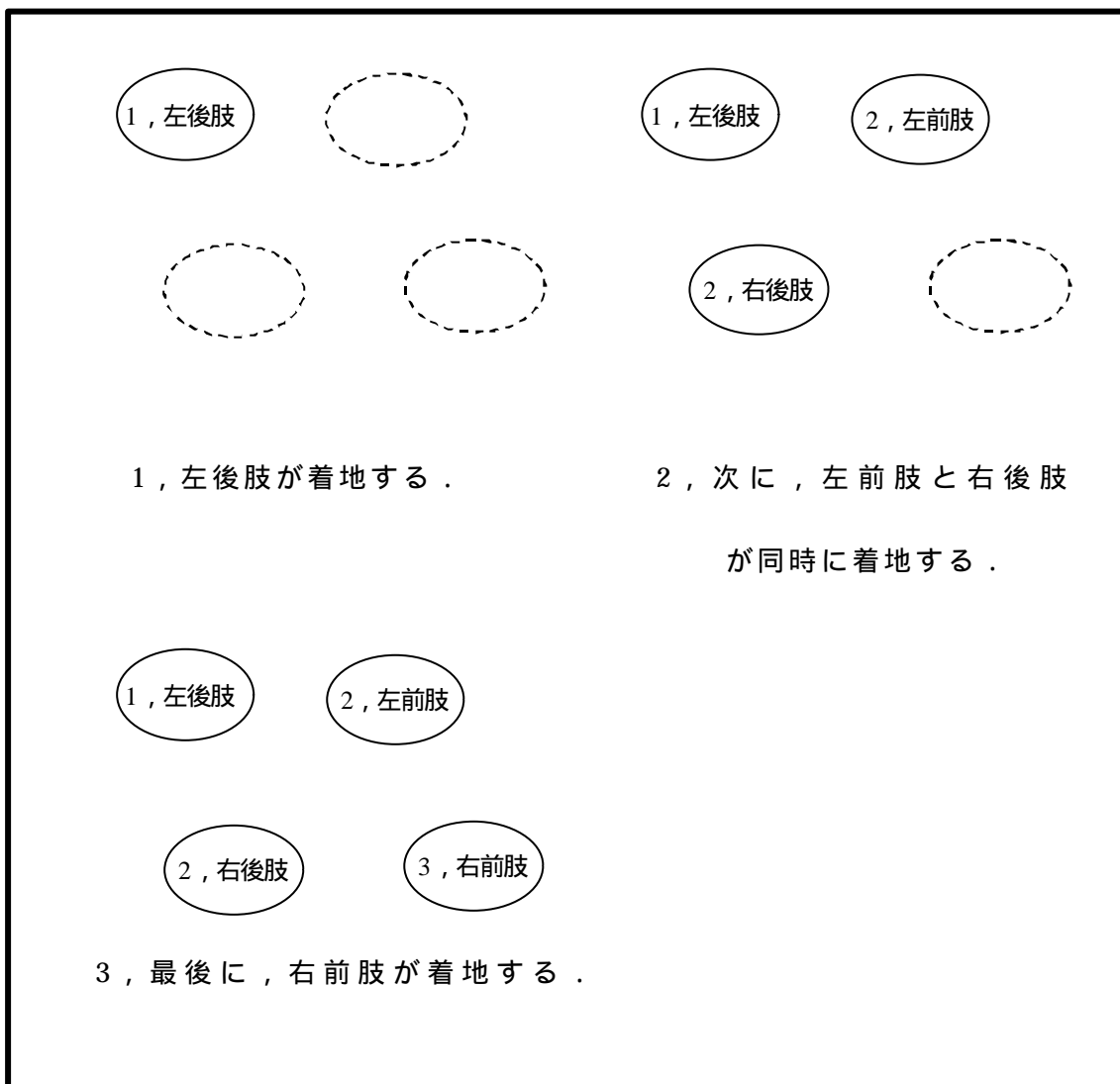
右前肢が前に出
る。

右前肢が離地する。



右前肢が着地する。左前肢と右後肢が
 左後肢が前に
 左後肢が離地する。離地する。出る。

図7, 駢歩(右駢歩)



図, 8 駢歩の足あと(右駢歩)

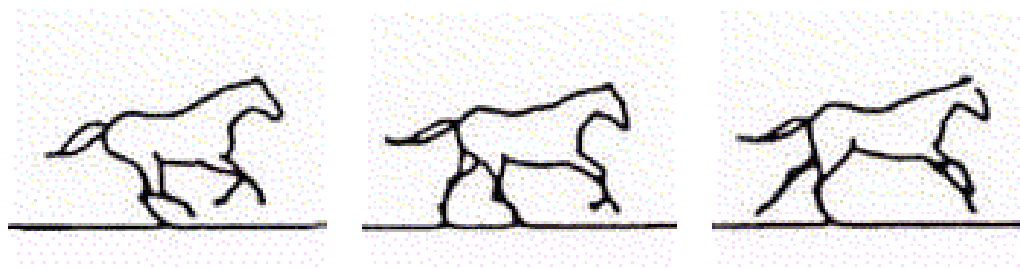
2.5 襲歩

英語で「GALLOP (ギャロップ)」という。4拍で、馬がもっとも速く走れる歩様。上下動がほとんど無いため、乗っていても非常に楽。しかし馬は疲れるのであまり長いこと襲歩を続けることは出来ない。競馬の時の馬は襲歩。速さは1分間に約1000m前後になる場合がある。

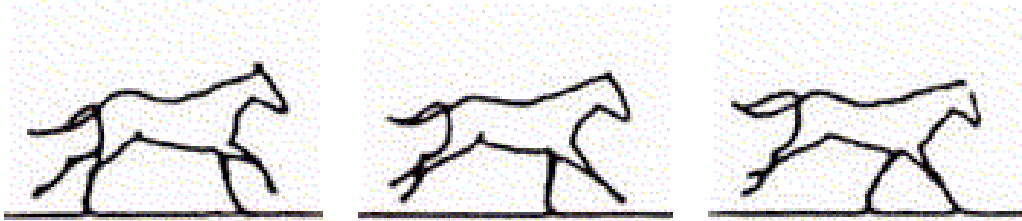
この歩様は交叉襲歩と回轉襲歩に分けることが出来る。

2.5.1 交叉襲歩

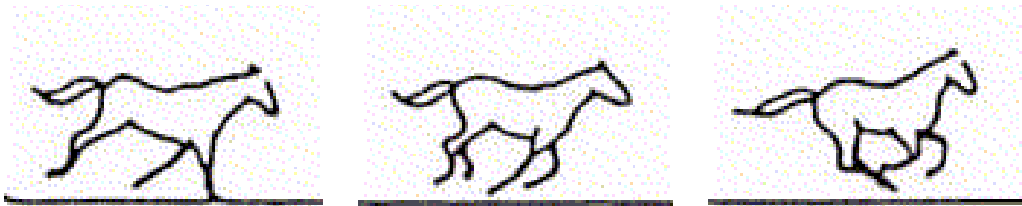
交叉襲歩というのは脊椎の柔軟性が無い馬や牛が行うもので、バランスがとりやすい歩様でもある。例えば、左後肢、右後肢、左前肢、右前肢の順に着地する。馬の4肢をこの順に結ぶと線分が交叉するところからこの名前がついた。



左後肢が着地する。 右後肢が着地する。 左後肢が離地する。

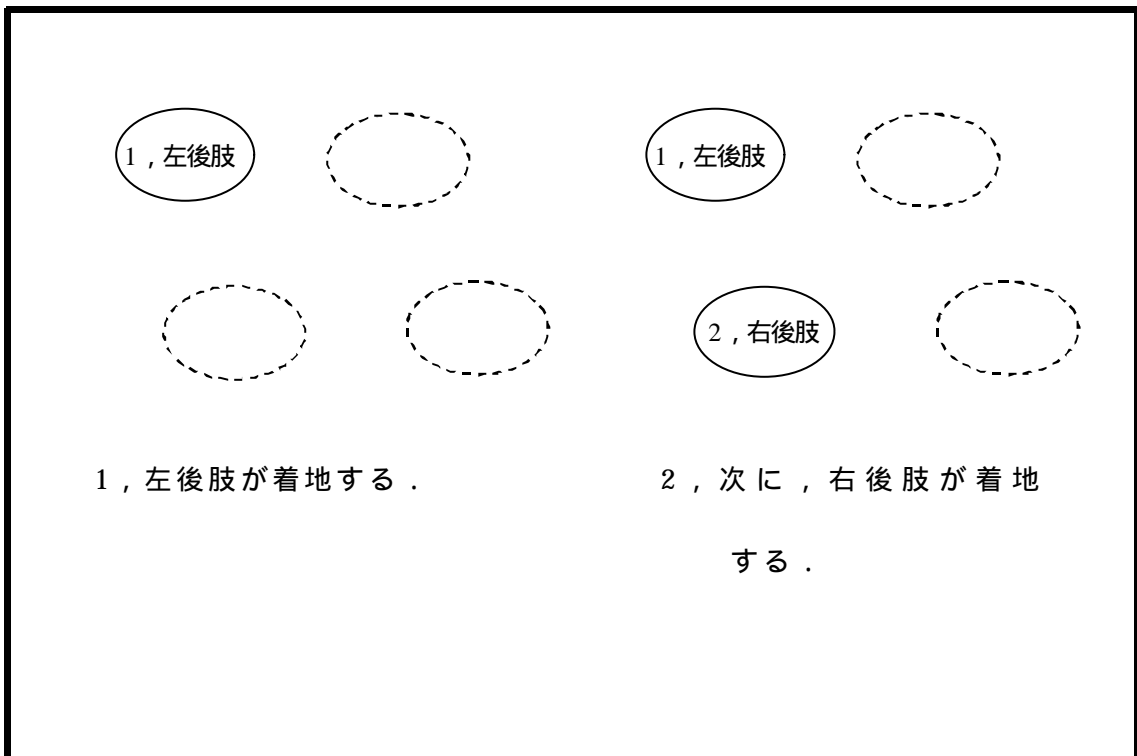


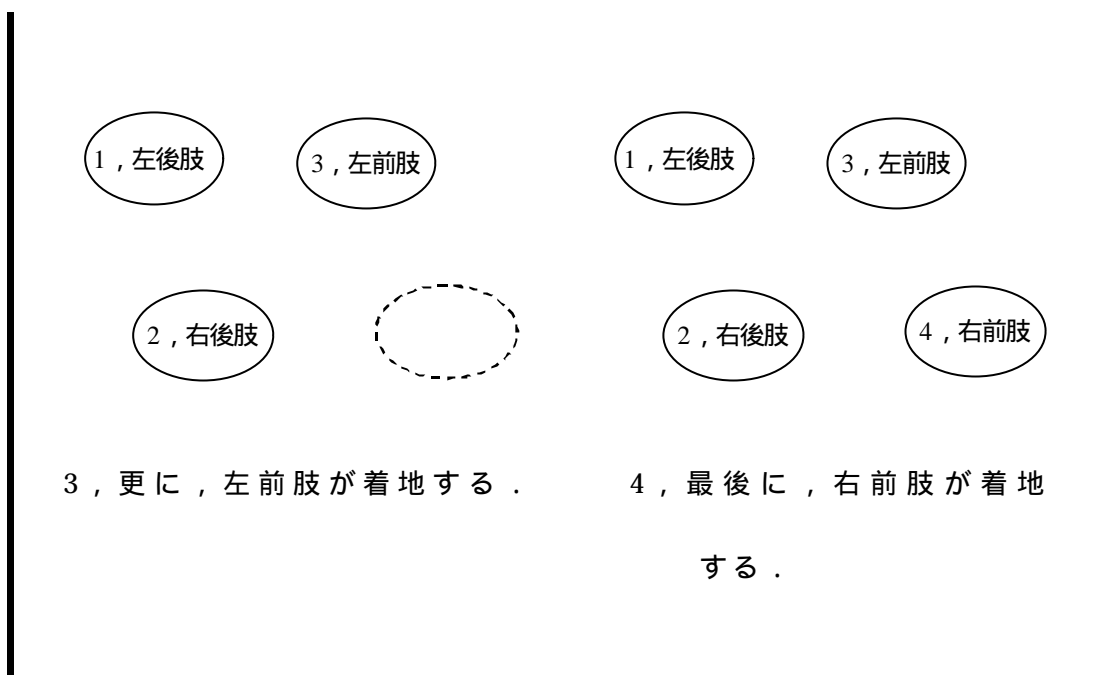
左前肢が着地する . 右後肢が離地する . 右前肢が着地する .



左前肢が離地する . 一瞬 , すべての肢が 左後肢と右後肢が
離地する . 前に出る .

図 , 9 交叉襲歩

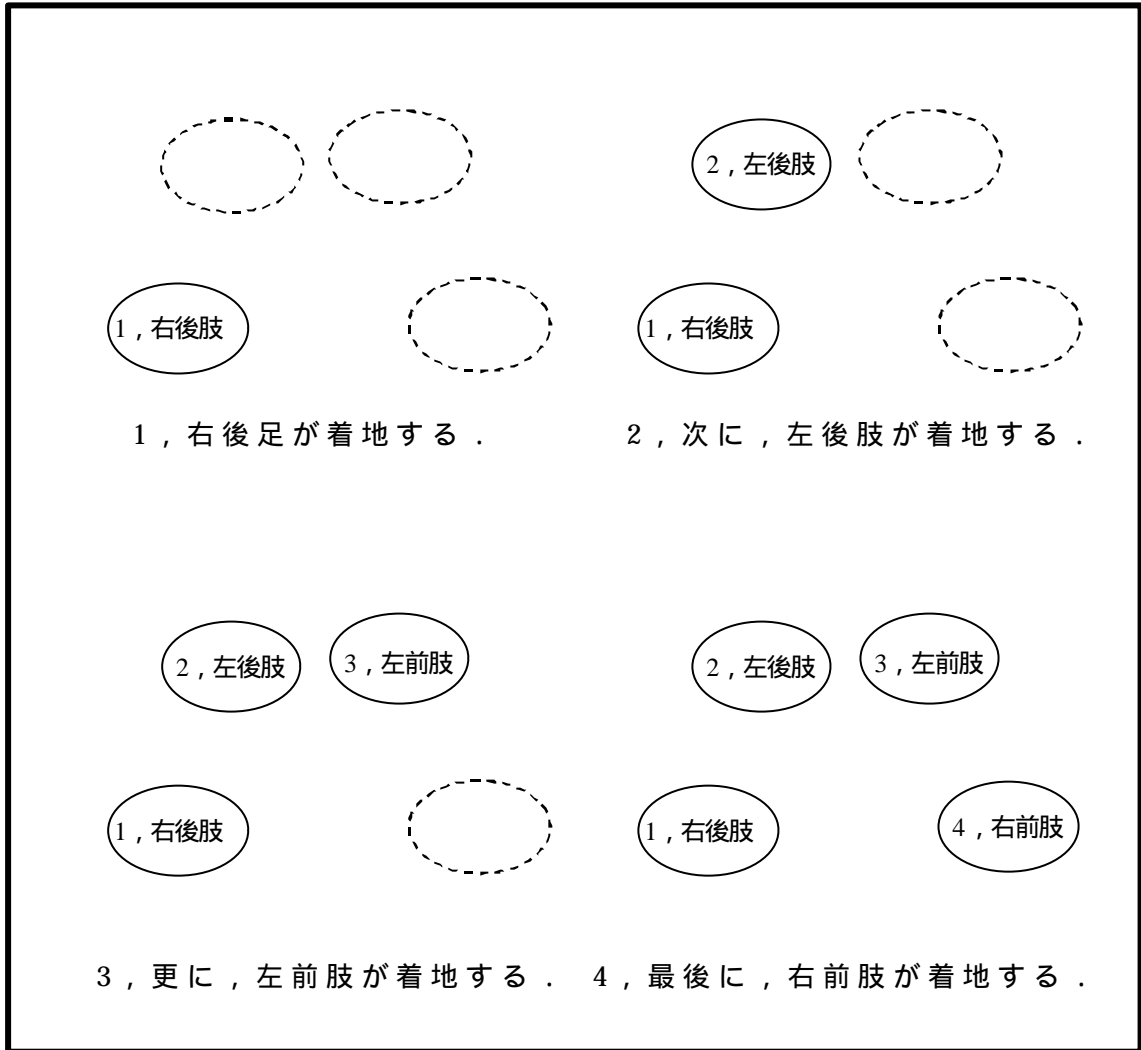




図, 10 交叉襲歩の足あと

2.5.2 回転襲歩

回転襲歩は犬や鹿などが行うもので, 右後肢, 左後肢, 左前肢, 右前肢の順に着地する。馬も競馬の発送直後などは一時的に回転襲歩をとる。他にも猫のように後肢を同時に蹴り出すハーフバウンドという歩様もあるが, 基本的に馬は交叉襲歩で走るものだと思ってよい。



図, 11 回転襲歩の足あと

2.6 手前

速歩と駈足, 襲歩には手前というものがある。駈足と襲歩の場合, 右前肢が一番前の方に着地するような走り方を右手前, その逆を左手前と言う。

速歩の場合は左右対称の動きだが、人が乗って軽速歩をとった場合に手前が生じる。右前肢が着地した時に人が鞍に座る乗り方を右軽速歩といたりする。

いつも同じ手前で走っているのは馬が疲れてしまうので、時々馬も手前を変えて走る。馬が自分で変えないときは騎手がかえりあげたりもしている。

2.7 合図

合図とは騎乗者が馬の歩様を変えるための指示のこと。

2.7.1 常歩から速歩

常歩から速歩へ歩様を変えるときの馬への合図は、騎手が左右のふくらはぎで、馬の脇腹を圧迫する。その際、合図の強さの度合いは馬によって変わってくる。本来は軽く圧迫するだけで十分なのだが、それでも駄目な時は、踵（かかと）で軽打する合図もある。

2.7.2 常歩から駈歩

常歩から駈歩への歩様の変化の手順は，馬の頭を少し内側にむかせ，馬の頭と反対側の脚（きゃく）騎手の膝から下）を少し後に引き，馬の頭と同じ方向の脚で，馬の脇腹を圧迫する．

2.8 おわりに

速さは，歩様の変化によって変わってくるのが分かった．また，馬の歩様によって，揺れが大きく変わってくるのが，分かった．常歩，速歩は，揺れと速さ的に健康増進に適していると思われる．しかし，駈歩，襲歩は，揺れ，速さ的に健康増進には適していないと思われる．これは，揺れが激しすぎる点と，速さが安全性をかけるという点である．駈歩，襲歩は，生馬の乗馬でさえ，乗りこなすのに大変な経験と訓練が必要となっており，健康増進を目的とした乗馬ロボットと，目的が異なると思われる．

第3章 骨組み

馬は肢がひどい骨折をすると亡くなる場合がある。それほど馬にとって肢は大切であり、丈夫な作りになっている。本章では揺れに大きく関係があり、体重がかかる馬にとって重要である、肢について述べる。

3.1 はじめに

野外用の乗馬ロボットを作る際、生馬の骨組みを参考に作る事により、生馬の揺れに近づける事が出来る。また、生物は骨の仕組み自体が丈夫にできており、参考にすることによって強度設計に役立つ事が出来る。

3.2 前肢の骨格

ウマの前後肢は高速で走るという能力に適応してよく発達している。躡行型（犬新生子）および趾行型（成犬）であるイ

又の前後肢と比較すると、ウマではイヌの手根部で見られる、関節を伸展させた際にいちじるしく関節角度が大きくなるという特徴はすでに失われている。ウマは蹄行型の動物で、前後肢がよく発達してより直線的に長く伸びた結果、大きな歩幅を獲得することになった。第一および第五指（趾）列の消失、第二および第四指（趾）列の退化が認められ、また第三指（趾）列がいちじるしくよく発達し、もっぱらこの指（趾）列によって体が支えられるようになったことも同様の適応の1つと考えられる。自然に佇立しているウマでは、前肢はその体重の約55～60%を支えている。騎乗者は手綱によってそのウマの環軸関節や、それに続く頸椎の関節を屈曲させて頸を「短縮」させると、体重の中心はより後方へ移動する。正常な構造を有するウマが正しく佇立している場合、前方からみるとその前肢は直線状で、左右の肢は正しく平行に配列する。側方からみた場合にも、ともに直線状で垂直に配列しているのが分かる。肩甲棘上に存在し、表面から触知可能な肩甲棘結節（5'）からの鉛直線は中手指節関節（繋関節、球節）の中心を通り、ついで蹄の後壁に沿って走る。

ウマの前肢帯骨（肩甲骨、烏口骨および一部の動物で見られる鎖骨）は退化傾向が顕著で、鎖骨は消失してわずかに上腕頭筋中に細い繊維状物（鎖骨画）として遺残しているのにすぎな

い。

3.2.1 肩甲骨

ウマの肩甲骨はその背縁をより拡大させる半月状大きな肩甲骨軟骨（14）を備える特徴がある。肩甲棘上には皮膚上から触知可能な肩甲棘結節が認められ、肩甲棘は肩甲頸の付近で遠位方向に向かってしだいに低くなり、肩峰をつくらない。ときに関節下結節（20）をみるこがある。

3.2.2 上腕骨

上腕骨：近位端外側および内側にそれぞれ発達した大結節（25）および小結節（29）が認められる。両結節ともそれぞれ前部と後部に区分される。両結節は矢状方向に走る広い結節間溝（28）によって区分され、それらの間に中間結節（28'）を備える。結節間溝は太い上腕二頭筋腱の深部表面の形に適合するように凹み、ウマが佇立している場合、上腕二頭筋腱が上腕骨から逸脱するのを防いでいる。上腕骨体外側にはいちじるしくよく発達した三角筋粗面（32）がみられるが、その反対側の内側には大円筋粗面（32'）を備える。遠位端には体重を橈骨

に移す役割を担う円筒状の上腕骨顆（35）が発達する。上腕骨顆にはその外側面に矢状方向に走る小稜線が認められ、その小稜線の側面には橈骨および尺骨の形状に一致する溝が存在する。外側上顆（38）および内側上顆（39）は外側上顆稜（38'）とともに触知することが可能である。上腕骨顆のわずかに近位側前面には橈骨窩（41）が浅いくぼみとして認められる。橈骨窩の反対側で同部後面には内外両上顆の間により深い肘頭窩（40）が存在する。（橈骨窩および肘頭窩の間に滑車上孔は認められない）。

3.2.3 前腕骨格

前腕骨格は橈骨と尺骨の2骨によって形成され、これらのうち、橈骨のみが肘関節を介して上腕骨を支える。橈骨の近位端前面には上腕二頭筋腱の唯一の終止部である広い橈骨粗面（46）が認められる。遠位端には発達の乏しい内側および外側茎状突起（50, 61）がみられ、これらは関節面の内外両端をなす。外側茎状突起には尺骨遠位端の遺残部が含まれる。

尺骨はウマではすでに橈骨と癒合しており、肘頭は肘関節における伸展角度を制限している。その近位端である肘頭隆起（52）の位置は第五肋骨の位置に達する。尺骨体は細く、さら

に徐々に細くなり前腕骨中位で橈骨に癒合する。癒合した両骨間の前腕部近位 1/3 には前腕骨間隙 (62) が認められる。

3.2.4 手根骨

手根骨は近位列内側から外側へ順に橈側手根骨 (63), 中間手根骨 (63'), 尺側手根骨 (64) および副手根骨 (65) と呼ばれる。手根骨遠位列は同じく順に第一～第四手根骨 (66) と呼ばれ, これらのうち第一手根骨は小型で, しばしば欠如している。

3.2.5 中手骨

第二中手骨 (Mc2), 第三中手骨 (Mc3) および第四中手骨 (Mc4) のみが存在する。第一中手骨 (Mc1) および第五中手骨 (Mc5) は消失し, Mc2 および Mc4 は高速走行を獲得するために生じた肢構造の単純化と肢が長く伸びた結果により, いちじるしく小型となっている。Mc3 は大中手骨または管骨 (cannon bone) とも呼ばれ, よく発達し前肢にかかる体重すべてを支える中手骨で, その横断面は内外方向に長い卵円形をなし, きわめて強靱である。その遠位端にみる頭は基節骨近位端にみる縦溝と互いによく関節する縦稜を備える。Mc2 および Mc4 は小中手骨または副中手骨 (splint bone) とも呼ばれ, 細

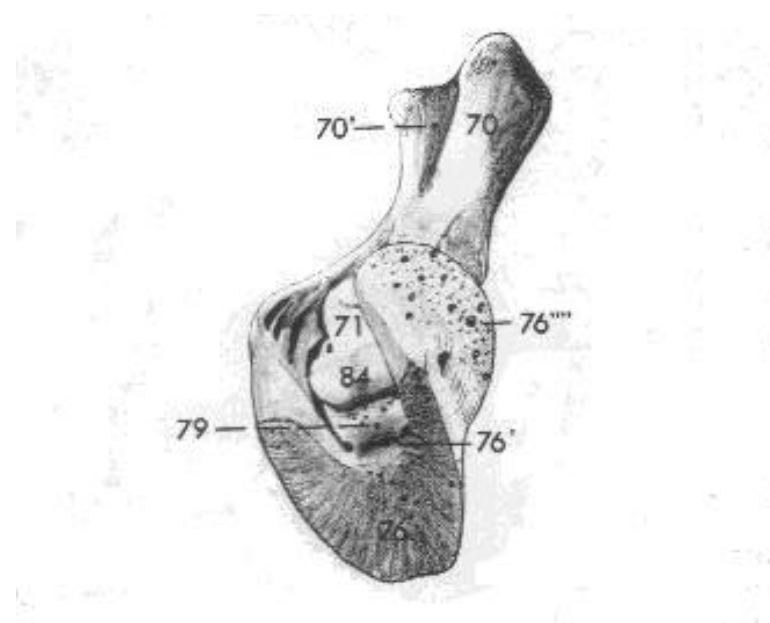
小で長さも Ms3 の約 1/3 程度である。中手骨近位端にみる底 (67) は手根骨 (C) と関節する (Mc2 は C2 と, Mc3 は C2 および C3 と, Mc4 は C4 と関節する)。小中手骨は繊維性組織によって Mc3 と結ばれ, 小中手骨の丸みを帯びた頭部は触診の際に重要な目印となる。

3.2.6 指骨

基節骨 (70), 中節骨 (71), 末節骨 (76) は唯一体重を支えるためによく発達した第三指列を形成する。第一指骨 (P または繁骨) とも呼ばれる基節骨は 3 指骨のなかで最も長く, その掌側面に基節骨三角 (70') を備える。中節骨 (P または冠骨) は基節骨の約 1/2 の長さで, 存在時には靭帯や浅指屈筋腱などが付着するために強靱な補強線維軟骨で補強された広い屈筋粗面 (75) が近位掌側面に認められる。末節骨 (P) は蹄骨とも呼ばれる。全体が海綿骨からなり, 血管を収容する床孔 (76') および壁溝 (76'') を備える。内側および外側蹄軟骨 (76''') はおのこのの掌突起 (76''') 上に位置し, 蹄の湾曲度に対応するように

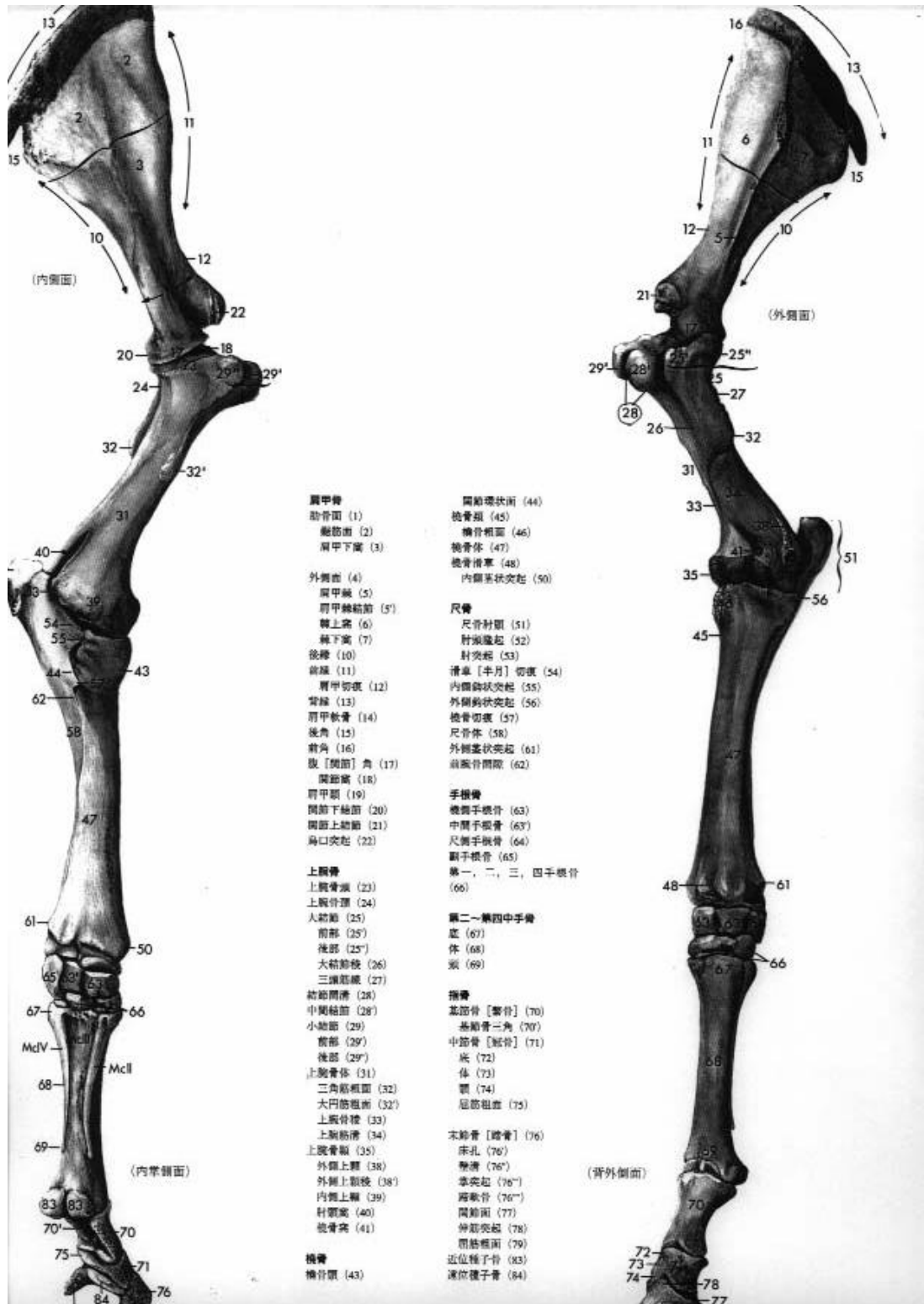
わずかにカーブしている。近位端は蹄より高く突出しており, その部分は外部から触知できる。末節骨の関節骨 (77) はもっ

ぱら中手骨と関節するが，小さな遠位種子骨との関節面も備える．末節骨の屈筋粗面（79）は深指屈筋腱に終止部を与える．



図，12 指骨，遠位種子骨，およびその周囲の靭帯と蹄軟骨
(外掌側面)

ウマの近位種子骨（83）および遠位種子骨（84）は臨床上重要な存在である．対をなす近位種子骨は Mc3 と関節し，不對の遠位種子骨は蹄内に位置し，中節骨および末節骨双方と関節する．

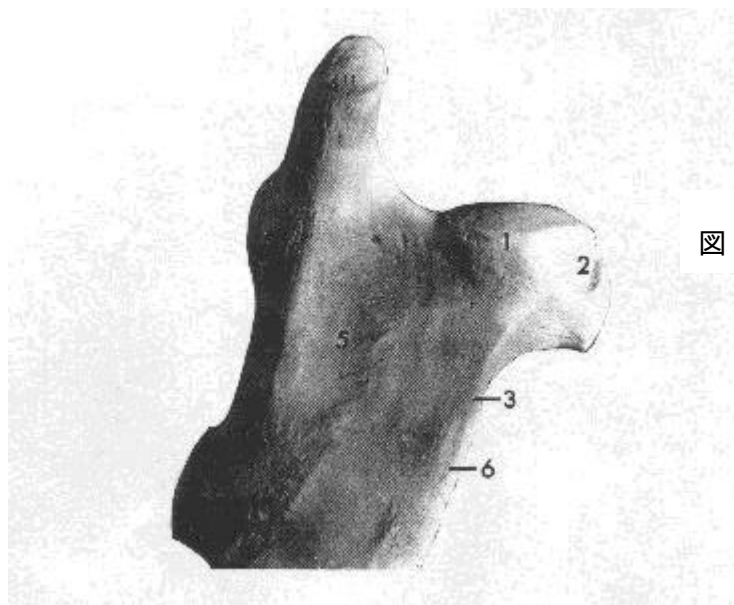


図，13 前肢の骨格

3.3 後肢の骨格

3.3.1 大腿骨

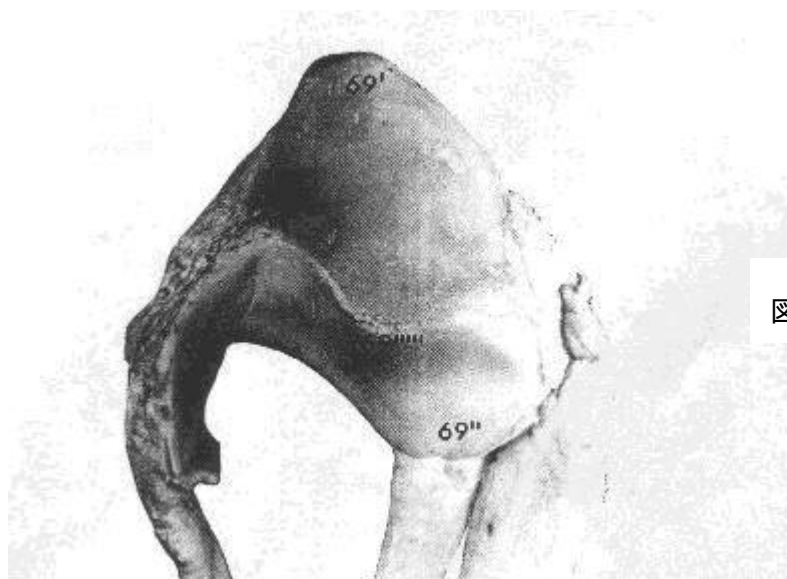
大腿骨近位端にみる大腿骨頭（1）には、三角形を呈する比較的大形の頭窩（2）が認められる。頭窩の先端部は大腿骨頭の中心部付近を占め、その底は頭の内縁近くに位置する。頭窩には関節軟骨は認められないが、



図, 14 後外側面

その尖端近くに大腿骨頭靭帯の付着点が認められ、またその底近くには大半が腹直筋腱に由来する恥骨前腱からなる大腿骨副靭帯が存在する。大腿骨頭（3）はウマではくびれておらず、そのまま外側で前部（4'）とより顕著に突出した後部（4''）の2部からなる大転子（4）へと移行する。大転子後部は頭よりかなり高く突出する

が，その腹側部は転子窩（5）の外側縁をなす．転子窩内縁上には小転子（6）が認められる．大腿骨近位 1/3 外側縁上には著明に発達した第三転子（7）が突出する．同後面には浅趾屈筋の起始部となる顆上窩（13）をみる．顆上窩の外縁には外側顆上粗面が存在し，腓腹筋外側頭が起始する．大腿骨遠位端には内側顆（14）および外側顆（17）が認められ，これらは深い顆間窩（20）によって分けられる．内・外側顆前方には大腿骨滑車（21）が広がり，その内側縁は外側のそれよりもはるかに広い．その近位側に向かって大腿骨滑車結節（21'）をみる．



図，15 後面

これは受動的指示装置による膝関節固走の際重要な役割を果たす．大腿骨滑車は広い関節滑走面を備え，膝蓋骨（69）と関節する．膝蓋骨はほぼ三角形をなし，その近位端を底（69'），遠位端を尖（69''）と呼ぶ．内側縁には軟骨突起（69'''）が隆起し，そこには膝蓋旁（線維）軟骨（69''''）が付着する．膝蓋骨の関節面（69''''）

には大腿骨滑車面にみる浅い溝に正しく関節するように，矢状方向に走る1本の小稜線が認められる．また膝蓋骨と大腿骨滑車双方の関節面上には，広い滑走面とより狭い休息面とを分ける低い横走する稜線を認める．すなわち，大腿骨滑車上の休息面は滑走面の近位側に，膝蓋骨のそれは遠位側にそれぞれ認められる．ウマが静かに佇立し，双方の後肢に均等に体重がかかっている場合には膝蓋骨は大腿骨滑車近位端の休息位置に位置し，膝蓋骨と大腿骨滑車のおのこの休息面は互いに接するようになる．

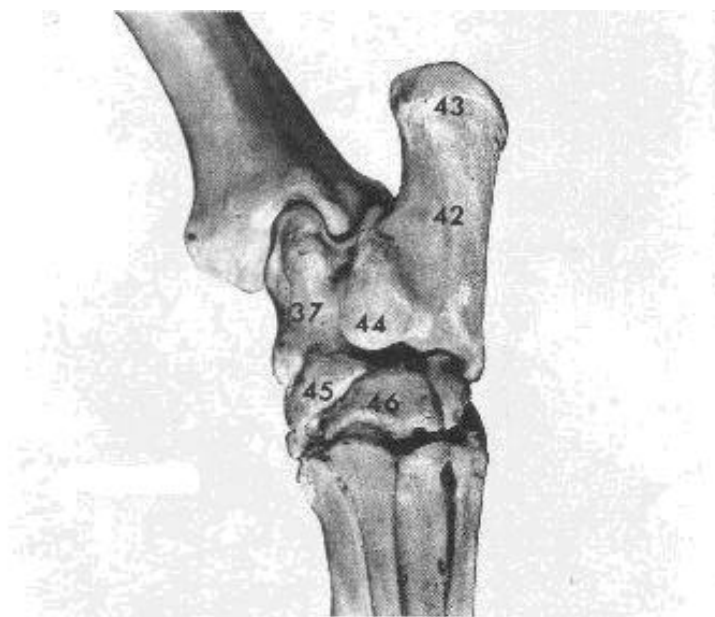
3.3.2 下腿骨

下腿骨はけい骨と腓骨からなるが，腓骨は強く退化しているために後肢にかかる体重はもっぱらけい骨によって支えられる．

．けい骨近位関節面(22)はほぼ三角形をなし，関節面中央部から著明な顆間隆起(24)が突出する．関節面前端には三角形をなすけい骨粗面(29)が認められ，この部分には大腿四頭筋終腱を支える3本の膝蓋靭帯が付着する．関節面前外側縁には深い切れ込みをなす伸筋溝(27)がみられ，関節面後縁には膝窩切痕がみられ，この部からけい骨後面にかけて明らかな膝

窩筋線（27'）をみる．膝窩筋線はけい骨の近位外側から遠位内側にかけて斜走し，膝窩筋の付着部となる．これらの各面はすべて筋によっておおわれるが，けい骨前内側面のみはすぐに皮膚に接する．けい骨遠位端に認められるけい骨ラセン（30）は1本の稜線によって分けられる2本の斜走溝からなり，それらの両側には内果（31）および外果（35）がみられる．

．腓骨はその腓骨頭（32）によってけい骨の外側顆（25）と関節する．腓骨体はいちじるしく細くなり，ほぼけい骨中位に終わる．腓骨の遠位端は，すでにそれがけい骨に癒合することによって形成された外果（35）により置き換えられている．



図，16 内足底面

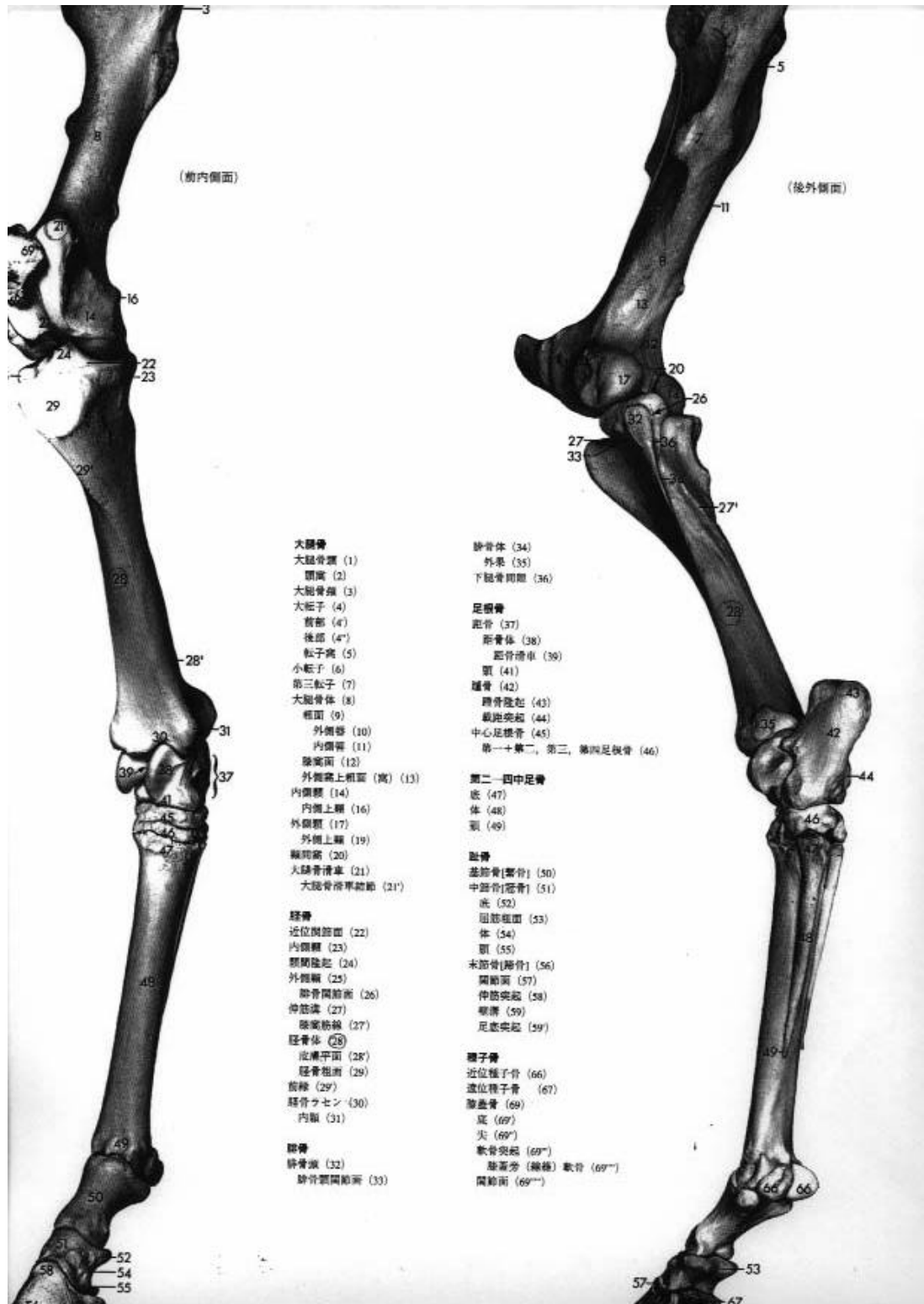
3.3.3 足根骨

足根骨は3列に配列する。

近位列は距骨(37)および踵骨(42)からなる。いちじるしく発達した距骨滑車(39)にはけい骨ラセンと関節し、斜走する2本の稜線をみる。踵骨(42)には近位方向に盛り上がる踵骨隆起(43)が認められ、中位には太い深趾屈筋腱を支える載距突起(44)がよく発達し、遠位側で第四足根骨と関節する。中間列は中心足根骨(45)からなる。遠位列は第一～第四足根骨(46)により構成されるが、すでに第一および第二足根骨は癒合しており、第三足根骨は大中足骨直上に位置し、趾第四足根骨はその外側に配列するが、中間列に向かってわずかに近位方向に突起している。

3.3.4 中足骨, 趾骨, 種子骨

d)中足骨, 趾骨および種子骨は前肢の各相同骨に類似する。第三(大)中足骨(Mt3)は、第三(大)中手骨(Mc3)の横断像が内外側方向に長い楕円形を示すのに対し、円形をなす。



図, 17 後肢の骨格

3.4 おわりに

馬の体重は，ほぼ前肢にかかってくることが分かった．これにより，設計の際は前肢の強度を十分に高める必要がある．

関節ごとにもかかる体重が分散し，第二～第四中足骨は特に強靱な材料を使用しなければならない．後肢については，けい骨に強靱な材料，大腿骨滑車結節に外れない関節の構造を考える必要がある．

第4章 結章

本論文では，歩様の種類と肢運び方，肢の骨組みと関節を調査し，その特徴と仕組みを確認した．本章では，本論文での調査成果についてまとめ，今後の課題などを述べる．

4.1 本調査の成果

室内用乗馬ロボットの特長を生かしつつ，野外における乗馬ロボット製作にむけ，重要となる生馬の歩行パターンと骨の仕組みを調査してきた．

それにより，歩行パターンについては常歩と速歩が健康増進に最も適した揺れと速度を備えているように思われる．駈歩，襲歩については，安全性と乗馬技術から見ても，健康増進を目的とした被験者には無理があると思われる．しかし，ある程度の健康者，もしくは乗馬経験者ならば肉体的健康増進でなく，精神的（ストレス）発散としての利用は大いに期待できる．

次に骨組みを調査した事により，それぞれの肢にかかる体重

の割合が分かり，製作の際，前肢の強度は後肢より高めに設定する必要がある．また，前肢の結節間溝と管骨は特に注意した設計が必要と分かった．後肢についてはけい骨にあたる部分は気をつけなければならない．

4.2 今後の展開

今後の展開としては，今回の調査を基に実際に製作に入り，設計，強度計算，プログラムの開発などを行う．そして野外用乗馬ロボットに乗ってもらい，健康増進の効果をもたらすかの実験を行う．

参考文献

1 ,橋本 ,「馬の解剖アトラス」日本中央競馬協会弘済会 (1987)

2 , 日本中央競馬競走会競走馬総合研究所 ,「競走馬の X 線写真集」(1980)

3 , Teruki Kurashina, 「Momo cheval- うま, horse, cheval, Pferd, 馬世界への誘い- 」

<http://www.shiojiri.ne.jp/%7Ekurateru/index.html>, (2000)

4 , Horse school ,

<http://www2u.biglobe.ne.jp/~banana/school/uma/umauma.htm>

謝辞

本論文は、著者が高知工科大学知能機械システム工学科在学中に行った調査をまとめたものである。

本調査にあたり、ご指導下さった高知工科大知能機械システム工学科王碩玉助教授に対して深く感謝致します。

また本調査において、貴重な助言を下された松下電工の四宮葉一氏に深く御礼申し上げます。

そして、調査に行き詰まったとき、助けてくれた研究室の方々、調査の資料集めに助けてくれた、学科の方々に深く感謝致します。

最後に、四年間学生生活を支えてくれた両親に深く感謝致します。

2001年2月