

役畜のけん引機構に関する研究

盛 政 貞 人

Sadato MORIMASA : Studies on the Draught-Mechanism
of the Draught Animal.

ABSTRACT : This research was carried out in order to elucidate the draught mechanism of the draught animal and its related fundamental theories, and in its turn to get information on which to base our judgement of the physical conditions (the conformation and the body-weight) fit for the draught animal and the decision of the reasonable way of draught.

A. The Fundamental Theories

1. The fundamental theories on the equilibrium in the movement of rotation

a. The law of equilibrium in the movement of rotation along the longitudinal section of the animal body when the animal was kept in standing with the draught imposed upon it :

$$F \cdot D_{lh} + W_p \cdot D_{gh} = 0 \dots \text{Formula 1}$$

(F : the weight of the draught, D_{lh} : the vertical distance between the trace and the axis of rotation of the hind-hoof, W_p : the body-weight which participates in the moment of rotation, D_{gh} : the horizontal distance between the centre of the gravity and the axis of rotation of the hind-hoof).

b. The condition for enabling the animal to walk in relation to the equilibrium along the longitudinal section of the body of the draught animal in draught :

$$\left| F \cdot D_{lh}^{bnh'} \right| \leq \left| W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} \right| \dots \text{Formula 2}$$

[$D_{lh}^{bnh'}$: the vertical distance between the trace and the axis of rotation of the hind-hoof in the beginning period of non-support by the opposite hind-limb ($Pe^{bnh'}$) ;
 $W_p^{bnh'}$: the body-weight which participates in the moment of rotation in $Pe^{bnh'}$;
 $D_{gh}^{bnh'}$: the horizontal distance between the centre of gravity and the axis of rotation of the hind-hoof in $Pe^{bnh'}$].

c. The analysis of D_{lh} , or $D_{lh}^{bnh'}$:

$$D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \dots \text{Formula 3}$$

$$D_{lh}^{bnh'} = (H_{ph}^{bnh'} - D_{ph}^{bnh'} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \dots \text{Formula 3'}$$

(H_{ph} : the height between the point of the attachment of the trace and the axis of rotation of the hind-hoof ; $H_{ph}^{bnh'}$: H_{ph} in $Pe^{bnh'}$; D_{ph} : the horizontal distance between the point of the attachment of the trace and the axis of rotation of the hind-hoof ; $D_{ph}^{bnh'}$: D_{ph} in $Pe^{bnh'}$; α : the angle which the line of direction of the trace makes with the horizontal line).

2. The fundamental theories on propulsion

a. The analysis of D_c^{mf} :

$$D_c^{mf} = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'} \dots \text{Formula 4}$$

$$= L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} - L_{ch}^{esh'} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh'} \dots \text{Formula 5}$$

[D_c^{mf} : the horizontal propulsive distance of the centre of movement of the coxa in the duration in which one hind-hoof works as the major fulcrum ; D_{ch}^{esh} : the horizontal distance between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof in the ending period of the duration of support by one hind-limb (Pe^{esh}) ; $D_{ch}^{esh'}$: the horizontal distance between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof in the ending period of the duration of support by the opposite hind-limb ($Pe^{esh'}$) ; L_{ch}^{esh} : the oblique length between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof in Pe^{esh} ; $L_{ch}^{esh'}$: the oblique length between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof in $Pe^{esh'}$; θ_{ch}^{esh} : the angle which the straight line between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof makes in the fore part with the horizontal line in Pe^{esh} ; $\theta_{ch}^{esh'}$: the angle which the straight line between the centre of movement of the coxa and the axis of rotation of the hind-hoof makes in the fore part with the horizontal line in $Pe^{esh'}$]

b. The correspondence of D_c^{mf} to S_p :

$$D_c^{mf} = S_p \dots \text{Formula 6}$$

(S_p : the length of one step measured along the line in the direction of the body progression).

B. The Application of the Fundamental Theories for the Draught Mechanism

1. The body condition fit for the draught animal (the conformation and the

body-weight)

a. The body condition favourable for the function of equilibrium :

(1) W_p or $W_p^{bnh'}$ is great, accordingly the body-weight itself, is great (according to Formulas 1 and 2).

(2) D_{gh} or $D_{gh}^{bnh'}$ is great (according to Formulas 1 and 2). In this connection, the following are taken to be favourable for the purpose :

(a) The trunk is long and strong

(b) The conformation is the one which has the centre of gravity placed forward.

(3) D_{lh} or $D_{lh}^{bnh'}$ is short (according to Formulas 1 and 2).

In this connection,

(a) In the horizontal traction ($\alpha=0^\circ$) [In which case D_{lh} is calculated as follows : $D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) = (H_{ph} - 0) \times 1 = H_{ph}$],

H_{ph} or $H_{ph}^{bnh'}$ is low (based on Formulas 3 and 3'). Accordingly, the height of the animal-body is low, or the animal has the body condition which enables him to make $H_{ph}^{bnh'}$ low.

(b) In the non-horizontal traction, $\frac{H_{ph}}{D_{ph}}$ or $\frac{H_{ph}^{bnh'}}{D_{ph}^{bnh'}}$ is small (according

to Formulas 3 and 3'). Accordingly, the height of the animal-body is relatively small against the length of the animal-body, or the animal has the body condition which

enables him to make $\frac{H_{ph}^{bnh'}}{D_{ph}^{bnh'}}$ small.

b. The body condition favourable for the function of propulsion :

(1) The body condition is the one which enables $D_{ch}^{esh'}$ to be small (according to Formula 4).

(a) The body condition required for the equilibrium in the movement of rotation along the longitudinal section of the animal body for the purpose of making $D_{ch}^{esh'}$ small (according to Formula 1 or 2) :

① W_p is great, accordingly, the body-weight is great.

② $D_{gc}^{bnh'}$, the horizontal distance between the centre of gravity and the centre of movement of the coxa in $Pe^{bnh'}$ [in relation to $D_{gh}^{bnh'}$ (= $D_{gc}^{bnh'}$ + $D_{ch}^{bnh'}$)] is great. That is to say, the trunk is long and strong, or the conformation is the one which has the centre of gravity placed forward.

③ $D_{lh}^{bnh'}$ is small.

(b) In order that $D_{ch}^{esh'}$ may be small, the body condition required for the conformational elements of $D_{ch}^{esh'}$ is given as follows (according to Formula 5) :

① $L_{ch}^{esh'}$ is great.

② $\theta_{ch}^{esh'}$ is great. ($\theta_{ch}^{esh'} > 90^\circ$. accordingly, the value of $\cos \theta_{ch}^{esh'}$ is minus.

(2) The animal has the body condition in which D_{ch}^{esh} is great (according to Formula 4)

(a) L_{ch}^{esh} is great (according to Formula 5)

In other words, in the extended condition the hind-limb is long. (The draught animal which is required to walk fast with light draught is to have the body condition similar to that of the draught animal for heavy draught and at the same time have somewhat longer hind-limbs.)

(b) θ_{ch}^{esh} is small (according to Formula 5). That is to say, the hind-limb, when extended backward with the hoof treading the ground, can get a good forward-leaning.

2. The reasonable way of draught

a. The way of draught favourable for equilibrium

(1) To make D_{lh} or $D_{lh}^{bnh'}$ small (based on Formulas 1 and 2). In this connection,

(a) Both in the horizontal traction ($\alpha=0^\circ$) and in the non-horizontal traction, to make H_{ph} or $H_{ph}^{bnh'}$ low. In other words, to make the point of the attachment of the trace low (based on Formulas 3 and 3').

(b) In the non-horizontal traction to make D_{ph} or $D_{ph}^{bnh'}$ great (based on Formulas 3 and 3'). In other words, the point of the attachment of the trace must be placed forward.

(c) To make α , the angle which the line of direction of the trace makes with the horizontal line, great (based on Formulas 3 and 3').

(2) To make W_p or $W_p^{bnh'}$ great (based on Formulas 1 and 2). For example, to put the carter on the back of the horse.

(3) To make D_{gh} or $D_{gh}^{bnh'}$ great (based on Formulas 1 and 2). For example :

(a) It is assumed that when the point of the attachment of the trace is at the height of the point of the shoulder, the animal gets the condition of a long trunk, enabling $D_{gh}^{bnh'}$ to be greater.

(b) To add weight to the fore part of the back or the neck.

b. The way of draught favourable for propulsion.

(a) In the experiment in which a comparatively light draught was imposed upon the animal S_p became greater when the point of the attachment of the trace was located at the height about the middle between the chine and the point of the shoulder on the extension of the belly-band on the saddle.

(b) S_p in the experiments became, on the whole, greater when draught angle was 10° than when it was 0° , or 20° .

I 研 究 目 的

この研究は、役畜のけん引機構ならびにそれに関係する基礎理論を解明し、ひいては、けん引用役畜に適した生体条件（体型、体重）の判定ならびに合理的なけん引方法決定上のよりどころとすることのできる知識をうることを目的として行なった。この成果は今後の家畜の運動生理学および環境生理学の発展にも寄与しうると思われる。

II 研 究 方 法

この研究のために多くの実験を行なったが、大別すれば、(a) 実験動物を駐立させたままでけん引をかけた場合と、(b) けん引歩行させた場合との2種になる。(a) および (b) の場合ともに、実験動物には山羊を用い、力の3要素（力の作用点、力の作用線、および力の大きさ）に相当する、けん引条件の3要素、すなわち、けん引点、けん引角度、およびけん引量のすべてを規定したけん引をかけた。そして、写真、ならびに映画撮影を用いる場合には、実験にききだって、山羊の肩胛骨運動中心（肩心と略称）および股関節運動中心（股心と略称）に、側望上相当する、体表上に標点を付した。

(a) の実験においては形態と、肢の負重量との両面についての測定を行ない、(b) の実験においては、時期的な形態上の変化についての測定を行なった。(a) の場合の形態上の測定は、実験中の実験動物の形態変化を写真にとって、キャビネ大の印画紙に引き伸ばして焼きつけたものについて行ない、肢の負重量については、2個の台秤を用いて前後肢別の重量を測った。(b) の場合の実験はすべて分速42.9 m の treadmill 上において行なった。そして、それを毎秒24コマの16mm 映画にとり、そのフィルム中から一完歩を構成する部分を選び出し、その各コマを、それぞれ、キャビネ大の印画紙に引き伸ばして焼きつけたものについて測定を行なった。また、treadmill 上に白紙を流して、これに蹄跡をとって測定を行なった。

III 研 究 成 果

けん引機構・けん引機能に関する基礎理論、けん引機構、および基礎理論の応用の3分野に大別される。

A. 基礎理論： けん引機構・けん引機能に関する基礎理論としてつぎのことを解明した。

1. 回転運動の平衡に関する基礎理論

a. 駐立した役畜にけん引をかけた場合の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡法則、ならびに関係基礎理論

(1) 回転運動の平衡法則：駐立した役畜にけん引をかけた場合の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡はつぎの条件によって保たれる（ F ：けん引量， D_{lh} ：けん引線～後蹄垂直距離， W_p ：体重の回転能率関与量， D_{gh} ：重心～後蹄水平距離）。

$$F \cdot D_{lh} + W_p \cdot D_{gh} = 0$$

そして、その平衡法則は、駐立した山羊にけん引をかけた場合の形態上の変化と、肢の負重量の変化との両者の間の力学的関係の追究によってこれを証明した。すなわち、四肢負重総量を、その源泉上からして、平衡条件中の1要素である W_p を含んで、つぎの(2)において述べる如く解析し、そして、得られる前肢負重量の理論値と測定値とが、また、後肢負重量の理論値と測定値とが一致することをみいだすことによって証明した。

この平衡法則にしたがえば、 F が大であるためには、 W_p および D_{gh} が大であるか、 D_{lh} が小であることが要求される。

(2) 四肢負重総量についての、その源泉上からしての解析：けん引をかけた場合の四肢負重総量 (W_{tl}) は、その源泉となる鞍づけ体重 (W) およびけん引量の四肢負重総量への転換量 (F_t) によってつぎの如く構成される (tW_{fl} : 前肢負重量の理論値, tW_{hl} : 後肢負重量の理論値, W_{np} : 体重の回転能率非関与量, W_{npf} : 体重の回転能率非関与量の前肢負重量, W_{nph} : 体重の回転能率非関与量の後肢負重量, D_{fh} : 前蹄～後蹄水平距離, D_{gf} : 重心～前蹄水平距離)。

$$W_{tl} = tW_{fl} (= W_{npf}) + tW_{hl} (= W_{nph} + W_p + F_t)$$

$$\text{ただし, } W_{np} = W - W_p$$

$$W_{npf} = W_{np} \cdot \frac{D_{gh}}{D_{fh}}$$

$$W_{nph} = W_{np} \left(1 - \frac{D_{gh}}{D_{fh}} \right)$$

$$\text{また, } D_{fh} = D_{gf} + D_{gh} \text{ とする。}$$

そして、この解析も前肢負重量の理論値と測定値とが、また、後肢負重量の理論値と測定値とが一致することによって、その正しいことが証明された。

(3) W_p の後肢負重量への移行： W_p は、(1)において述べた平衡法則〔ならびに(2)において述べた四肢負重総量の解析〕の証明に伴って、後肢負重量に移行することが証明された。

(4) W_{np} の前後肢負重量への分配：(2)において述べた四肢負重総量の解析の証明に伴って、 W_{np} は重心～前蹄水平距離 (D_{gf}) と重心～後蹄水平距離 (D_{gh}) との比に反比例して、 W_{npf} と W_{nph} とに分れ、 W_{npf} は前肢負重量に、 W_{nph} は後肢負重量に、それぞれ、移行して加わることが証明された。

(5) F_t の大きさ、ならびにその後肢負重量への移行：けん引角度が 0° (水平) より大なる場合には、四肢負重総量 (W_{tl}) は鞍づけ体重 (W) より大となった。そして、この大となった量 ($W_{tl} - W$) はけん引量 (F) の一部が W に基づく四肢負重総量に加わるもので、これをけん引量の四肢負重総量への転換量 (F_t) と呼ぶこととした。

$$F_t = W_{tl} - W$$

さらに、 F_t とけん引角度 (α) との関係を追究することによって、 F_t は F_t と $\sin \alpha$ との積に

相当することをみいだした。

$$F_t = F \cdot \sin \alpha$$

F_t は (2) において述べた四肢負重総量の解析に伴って、後肢負重量に移行して加わることが証明された。

b. 役畜がけん引歩行できるための動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡上の許容条件。

役畜がけん引歩行する場合には、「反対後肢脱重始期 (= 後肢の主回転軸期間始期) の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡条件」

$$F \cdot D_{lh}^{bnh'} + W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} = 0$$

が基本的に重要であること〔 $D_{lh}^{bnh'}$: 反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$) のけん引線～後蹄垂直距離, $W_p^{bnh'}$: $Pe^{bnh'}$ の体重の回転能率関与量, $D_{gh}^{bnh'}$: $Pe^{bnh'}$ の重心～後蹄水平距離〕, そして, 「役畜がけん引歩行できるための動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡上の許容条件」は, この平衡条件が完全にみたされるか, あるいは, $Pe^{bnh'}$ の体重の回転能率関与量による回転能率 ($W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'}$) が, けん引量による回転能率 ($F \cdot D_{lh}^{bnh'}$) よりいくぶん優勢であることを実験上から推論した。すなわち,

$$\left| F \cdot D_{lh}^{bnh'} \right| \leq \left| W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} \right|$$

c. D_{lh} の解析: a において述べた平衡条件の 1 要素である D_{lh} は役畜の姿勢的要素に基礎をおいて, 幾何学的につぎの如く解析できる (H_{ph} : けん引点～後蹄間高, D_{ph} : けん引点～後蹄水平距離, α : けん引角度)

$$\begin{aligned} D_{lh} &= (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \\ &= D_{ph} \left(\frac{H_{ph}}{D_{ph}} - \tan \alpha \right) \sin (90^\circ - \alpha) \end{aligned}$$

そして, 水平けん引 ($\alpha = 0^\circ$) の場合には,

$$\begin{aligned} D_{lh} &= (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \\ &= (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan 0^\circ) \sin (90^\circ - 0^\circ) \\ &= (H_{ph} - 0) \times 1 \\ &= H_{ph} \end{aligned}$$

となる。

したがって, D_{lh} は水平けん引の場合には H_{ph} が小であるほど小となり, また, D_{lh} は角度けん引 ($\alpha > 0^\circ$) の場合には $\frac{H_{ph}}{D_{ph}}$ が小であるほど, すなわち, H_{ph} が小で, D_{ph} が大であるほど小となる。さらに, D_{lh} は水平けん引の場合, 角度けん引の場合, とともに α が大であ

るほど小となる。

2. 推進に関する基礎理論

a. 歩長 (S_p) と後肢の主支点期間 (= 反対後肢脱重始期～後肢負重終期) の股心水平推進距離 (D_c^{mf}) との一致: D_c^{mf} は, 内容としては, 反対後肢脱重始期 (P_e^{bnh'})～後肢負重終期 (P_e^{esh}) の期間中の股心の水平推進距離であるが, 計算上では, P_e^{esh} の股心～後蹄水平距離 (D_{ch}^{esh}) から反対後肢負重終期 (P_e^{esh'}) の股心～後蹄水平距離 (D_{ch}^{esh'}) をひいて得られる。

$$D_c^{mf} = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'} \dots\dots\dots \text{式 1}$$

ところが, D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'} は S_p にも相当する。したがって, D_c^{mf} は S_p に一致することが認められる。

$$D_c^{mf} = S_p = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'}$$

b. D_c^{mf} の解析: D_c^{mf}, ひいては, S_p は, a において述べた式 1 を基礎として幾何学的(役畜の姿勢的要素に基づいて) につぎの如く解析できる [L_{ch}^{esh}: 後肢負重終期 (P_e^{esh}) の股心～後蹄斜長, L_{ch}^{esh'}: 反対後肢負重終期 (P_e^{esh'}) の股心～後蹄斜長, $\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}}$: 後肢の主支点期間の後肢の伸長率, θ_{ch}^{esh} : P_e^{esh} の股心～後蹄傾角, $\theta_{ch}^{esh'}$: P_e^{esh'} の股心～後蹄傾角]

$$D_c^{mf} = S_p = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'} \\ = L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} - L_{ch}^{esh'} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh'} \dots\dots\dots \text{式 2}$$

$$= L_{ch}^{esh'} \left(\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} - \cos \theta_{ch}^{esh'} \right) \dots\dots\dots \text{式 3}$$

c. D_{ch}^{esh} の解析: D_{ch}^{esh} は, b)において述べた式 2 に基づいてつぎの如く解析できる [($\theta_{ch}^{esh'}$ - θ_{ch}^{esh}): 後肢の主支点期間の後肢の前傾角度]。

$$D_{ch}^{esh} = L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \\ = L_{ch}^{esh'} \cdot \frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \dots\dots\dots \text{式 4}$$

$$= L_{ch}^{esh'} \cdot \cos [\theta_{ch}^{esh'} - (\theta_{ch}^{esh'} - \theta_{ch}^{esh})] \dots\dots\dots \text{式 5}$$

d. D_{ch}^{esh'} のけん引理論上の性質: 反対後肢負重終期(P_e^{esh'})と反対後肢脱重始期(P_e^{bnh'})とは隣接する歩期であるため, D_{ch}^{esh'} は D_{ch}^{bnh'} とほとんど同様の变化をする。

ところで、 $(D_{ch}^{bnh'}$ と $Pe^{bnh'}$ の重心～股心水平距離 $(D_{gc}^{bnh'})$ との和は、 $Pe^{bnh'}$ の重心～後蹄水平距離 $(D_{gh}^{bnh'})$ を構成 $(D_{gh}^{bnh'} = D_{gc}^{bnh'} + D_{ch}^{bnh'})$ し、つぎの条件において、 $Pe^{bnh'}$ の体の縦断面に沿う回転運動の平衡に関与する。 $(F$: けん引量, $D_{lh}^{bnh'}$: $Pe^{bnh'}$ のけん引線～後蹄垂直距離, $W_p^{bnh'}$: $Pe^{bnh'}$ の体重の回転能率関与量)

$$F \cdot D_{lh}^{bnh'} + W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} = 0$$

$$F \cdot D_{lh}^{bnh'} + W_p^{bnh'} \cdot (D_{gc}^{bnh'} + D_{ch}^{bnh'}) = 0$$

しかも、 $D_{gh}^{bnh'}$ の変化は $D_{gc}^{bnh'}$ より $D_{ch}^{bnh'}$ の変化に大きく関係する。

したがって、 $D_{ch}^{bnh'}$ 、ひいては、 $D_{ch}^{esh'}$ が小であるためには、回転運動の平衡上 $W_p^{bnh'}$ が大であること、ひいては、体重が大でなければならない。

また、 F が大となれば $D_{ch}^{bnh'}$ や $W_p^{bnh'}$ が大とならなければならない。

e. D_c^{mf} 、あるいは S_p は、b において述べた式 3 にしたがえば、 $L_{ch}^{esh'}$ 、 $\frac{L_{ch}^{esh'}}{L_{ch}^{esh'}}$ 、および $\theta_{ch}^{esh'}$ が大となるほど、また、 $\theta_{ch}^{esh'}$ が小なるほど大となる。また、a において述べた式 1 に関して、 $D_{ch}^{esh'}$ を小として、 D_c^{mf} あるいは S_p を大とするためには、d において述べた如く体重が大きいのがよい。

f. 踏越 (D_f) の解析 : D_f は蹄跡の観察によって、 S_p を含んでつぎのように解析できる (${}^{fp}D_{fh}^{lo}$: 一側肢体の屈曲時の前肢の蹄跡と後肢の蹄跡との体進行方向距離, ${}^{fp}D_{fh}^{ex}$: 一側肢体の伸展時の前肢の蹄跡と後肢の蹄跡との体進行方向距離, S_d : 定歩長)

$$D_f (= {}^{fp}D_{fh}^{lo}) = S_d (= S_p \times 2) - {}^{fp}D_{fh}^{ex}$$

g. ${}^{fp}D_{fh}^{ex}$ と前肢負重始期の前蹄～後蹄水平距離 (D_{fh}^{bsf}) との一致 : 蹄跡によって観測される ${}^{fp}D_{fh}^{ex}$ は写真によって観測される D_{fh}^{bsf} に相当する。

$${}^{fp}D_{fh}^{ex} = D_{fh}^{bsf}$$

h. D_{fh}^{bsf} の構成 : D_{fh}^{bsf} はつぎの部分によって構成される [- D_{sf}^{bsf} : 前肢負重始期 (Pe^{bsf}) の肩心～前蹄水平距離の符号転換値, D_{sc}^{bsf} : Pe^{bsf} の肩心～股心水平距離, D_{ch}^{bsf} : Pe^{bsf} の股心～後蹄水平距離)。

$$D_{fh}^{bsf} = {}^{fp}D_{fh}^{ex} = - D_{sf}^{bsf} + D_{sc}^{bsf} + D_{ch}^{bsf}$$

i. 前肢の全振巾 (A_{tf}) および後肢の全振巾 (A_{th}) の構成 : A_{tf} および A_{th} は、それぞれ

れ、つぎの部分によって構成される (A_{ff} : 前肢の前方振り巾, A_{hf} : 前肢の後方振り巾, $-D_{sf}^{bsf}$: 前肢負重始期の肩心～前蹄水平距離の符号転換値, D_{sf}^{esf} : 前肢負重終期の肩心～前蹄水平距離, A_{fh} : 後肢の前方振り巾, A_{hh} : 後肢の後方振り巾, $-D_{ch}^{bsh}$: 後肢負重始期の股心～後蹄水平距離の符号転換値, D_{ch}^{esh} : 後肢負重終期の股心～後蹄水平距離)。

$$A_{tf} = A_{ff} (= -D_{sf}^{bsf}) + A_{hf} (= D_{sf}^{esf})$$

$$A_{th} = A_{fh} (= -D_{ch}^{bsh}) + A_{hh} (= D_{ch}^{esh})$$

B. けん引機構 : けん引機構に関する歩期機構, 歩様機構および姿勢機構の3つの面に関して, 主としてつぎのことを明らかにした。

1. 歩期機構

a. 前肢と後肢との機構および機能の差異 :

(1) 後肢の負重期間率 ($\frac{Du^{sh}}{Du^{sd}}$) が前肢の負重期間率 ($\frac{Du^{sf}}{Du^{sd}}$) より大であった (Du^{sf} : 前肢の負重期間, Du^{sh} : 後肢の負重期間, Du^{sd} : 完歩期間)。すなわち, 後肢は前肢に比べて, 支点あるいは回転軸として働く期間が長く, これに対して, 前肢は後肢に比べて, 体重を体重の回転能率関与量として利用させる期間が長い。このことは, 後肢は支点あるいは回転軸として働くことが主要な機能であり, 前肢は体重を体重の回転能率関与量としてよりよく利用させることを主要な機能とすることを意味するものと思われる。

(2) (1) において述べたところに関連して, 1前両後3肢負重期間率 ($\frac{Du^{1f2h}}{Du^{sd}}$) が, 両前1後3肢負重期間率 ($\frac{Du^{2f1h}}{Du^{sd}}$) より大であった (Du^{1f2h} : 1前両後3肢負重期間, Du^{2f1h} : 両前1後3肢負重期間)。

b. 平衡機能に係る歩期機構

(1) 役畜の体の縦断面に沿う回転運動の平衡機能に関するもの

(a) けん引量 (F) が大となるにつれ, 後蹄が股心に対して相対的に後方に寄った時期に反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$), (= 後肢の主回転軸期間始期…… Pe^{bma}) が現れた。すなわち, $Pe^{bnh'}$ の出現時期が遅くなる。そして, このことは F が大となるにつれて, $Pe^{bnh'}$ の股心～後蹄水平距離 ($D_{ch}^{bnh'}$), ひいては, $Pe^{bnh'}$ の重心～後蹄水平距離 ($D_{gh}^{bnh'}$) が大となることと関係している。

(b) $Pe^{bnh'}$ (= 後肢の主回転軸期間始期…… Pe^{bma}) における同側前蹄の位置ならびに対側前蹄の位置の適応 : $Pe^{bnh'}$ における同側前蹄の位置は脱重期間末期から負重期間初期の間にある。すなわち, 体重が体重の回転能率関与量 ($W_p^{bnh'}$) として利用されるのに都合のよい

状態にある。

また、 $Pe^{bnh'}$ における対側前蹄の位置は、負重期間の中期を相当に過ぎた時期にある。すなわち、その前肢は前傾状態に入っていて、体重の利用にも、後肢の進展にも都合のよい状態にある。

(2) 役畜の体の水平断面に沿う回転運動の平衡機能に関するもの。

(a) けん引量 (F) が大となるにつれて、片側2肢負重期間率 ($\frac{Du^{l2}}{Du^{sd}}$) が小となった (Du^{l2} : 片側2肢負重期間), すなわち、体の水平断面に沿う回転運動の平衡上不利な Du^{l2} が短くなる。

(b) Fが大となるにつれて、対角2肢負重期間率 ($\frac{Du^{d2}}{Du^{sd}}$) が大となった (Du^{d2} : 対角2肢負重期間), すなわち、動物体の水平断面に沿う回転運動の平衡上有利な Du^{d2} が長くなる。

(3) 役畜の体の横断面に沿う回転運動の平衡機能に関するもの

(a) けん引角度 (α) が大となるにつれて、 $\frac{Du^{l2}}{Du^{sd}}$ が小となった。すなわち、動物体の横断面に沿う回転運動の平衡上不利な Du^{l2} が短くなる。

(b) α が大となるにつれて、 $\frac{Du^{d2}}{Du^{sd}}$ が大となった。すなわち、動物体の横断面に沿う回転運動の平衡上有利な Du^{d2} が長くなる。

c. 推進機能に関係する歩期機構

(1) けん引量 (F) が大となると、完歩期間 (Du^{sd}) が短くなった。このことは、2において述べる如く、Fが大となると完歩長 (S_d) が短くなることと関連している。

(2) Fが大となると、4肢負重期間率 ($\frac{Du^{4l}}{Du^{sd}}$) が大となった (Du^{4l} : 4肢負重期間)。すなわち、 Du^{4l} が長くなった。そして、このことは、つぎの(3)において述べることと関係している。

(3) Fが大となると、四肢の運歩の順序が、前肢脱重始期 (bnf) → 後肢負重始期 (bsh), あるいは反対前肢脱重始期 (bnf') → 反対後肢負重始期 (bsh') の順序から、bsh → bnf, あるいは bsh' → bnf' の順序へと変換する。このことは、Fが大となると、後蹄の支点としての働きが始まって後に、初めて、同側前蹄が脱重しうようになることを意味する。

2. 歩 様 機 構

a. 前肢と後肢との機構および機能の差異：後肢の全振巾 (A_{th}) が前肢の全振巾 (A_{tf}) より大であった。このことは、後肢は支点あるいは回転軸として働くことが主要な機能であり、前肢は体重を体重の回転率関与量としてよりよく利用させることを主要な機能とすることに関係するものと思われる。

b. 平衡機能に関係する歩様機構：けん引量 (F) が大となるにつれて、反対後肢脱重

始期 ($Pe^{bnh'}$), ($=$ 後肢の主回転軸期間始期 …… Pe^{bma}) の股心～後蹄水平距離 ($D_{ch}^{bnh'}$) が大となった。このことは 1. b. (1)において述べた如く, F が大となるにつれて, $Pe^{bnh'}$ の出現時期が遅くなることと関係している。そして, このことは, さらに, 動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡 ($F \cdot D_{lh}^{bnh'} + W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} = 0$) 上, F が大となれば $D_{gh}^{bnh'}$ が大とならなければならないことと関係している。したがって, $D_{ch}^{bnh'}$ は, 理論上, F の増大にともなつてどこまでも大とならなければならない性質をもつものである。

c. 推進機能に関する歩様機構

(1) 後肢負重終期の股心～後蹄水平距離 (D_{ch}^{esh}) は, けん引量 (F) が大となるにつれて, ある程度まで大となつていったが, その増大には限界がみられた。 D_{ch}^{esh} は A. 2. c において述べた如く, つぎのように解析できる。

$$\begin{aligned} D_{ch}^{esh} &= L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \\ &= L_{ch}^{esh'} \cdot \frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \\ &= L_{ch}^{esh} \cdot \cos [\theta_{ch}^{esh'} - (\theta_{ch}^{esh'} - \theta_{ch}^{esh})] \end{aligned}$$

すなわち, D_{ch}^{esh} は, $D_{ch}^{esh'}$ を基準にしていえば, 後肢の主支点期間の後肢の伸長 ($\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}}$)

と後肢の前傾 ($\theta_{ch}^{esh'} - \theta_{ch}^{esh}$) とによって大となる。そして, その伸長と前傾とは限度がある。したがって, 理論上からも, D_{ch}^{esh} の増大には限界があることがわかる。

(2) 歩長 (S_p) は F が小さい場合には, F がより小なる場合あるいは 0 の場合に比べて大となる場合もあったが, 総括的にいって F が大となるにつれて小となった。このことは, S_p が A. 2. a)において述べた如く解析 ($S_p = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'}$) でき, そして, D_{ch}^{esh} は (1)において述べた如く, F が大となるにつれて大となるが, その増大には限界があることと, $D_{ch}^{esh'}$ が, 一方, 反対後肢負重終期が反対後肢脱重始期と隣接する歩期であるため, b)において述べた $D_{ch}^{bnh'}$ と同様 F が大となるにつれて次第にどこまでも大となることによる。

(3) 前肢負重始期の前蹄～後蹄水平距離 (D_{fh}^{bsf}) は F が大となるにつれて大となった。このことは, D_{fh}^{bsf} が A. 2. h)において述べた如き構成部分 ($D_{fh}^{bsf} = -D_{sf}^{bsf} + D_{sc}^{bsf} + D_{ch}^{bsf}$) からなり, そして, $-D_{sf}^{bsf}$ および D_{sc}^{bsf} が F による変化が小であり, D_{ch}^{bsf} が F が大となるにつれて大となることによる。なお, D_{ch}^{bsf} が F が大となるにつれて大となることは, 前肢負重始期が反対後肢脱重始期に近接した歩期であるため, b)において述べた $D_{ch}^{bnh'}$ の変化に似通つた変化をしなければならないことによる。

(4) 踏越 (D_f) は F が大となるにつれて小となり, ついには, 負 (-) の値をとるに

至った。このことは D_f が A. 2. f において述べた如く解析 $[D^f = S_d (= S_p \times 2) - fD_{fh}^{ex} (= D_{fh}^{bsf})]$ でき、そして、 S_p が (2) において述べた如く F が大となるにつれて小となり、 D_{fh}^{bsf} が (3) において述べた如く F が大となるにつれて大となることによる。

(5) F が大になるにつれて、後肢の前方振巾 (A_{fh})、($= -D_{ch}^{bsh}$) は小となり、後肢の後方振巾 (A_{hh})、($= D_{ch}^{esh}$) は大となった。いいかえると、後肢の全振巾 (A_{th}) は股心に対して相対的に後方に寄った。このことは、 D_{ch}^{bsh} が、b において述べた $D_{ch}^{bnh'}$ の変化に関係して、 F が大となるにつれて大となり、また、 A_{hh} が D_{ch}^{esh} と同一であるため、(1) において述べた如く、 F が大となるにつれてある限度まで大となることによる。

3. 姿勢機構

a. 平衡機能に関する姿勢機構

(1) 反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$) の重心～後蹄水平距離 ($D_{gh}^{bnh'}$) に関する機構：
 $D_{gh}^{bnh'}$ に関するのは、主として、 $Pe^{bnh'}$ の股心～後蹄水平距離 ($D_{ch}^{bnh'}$) および $Pe^{bnh'}$ の
 肩心～後蹄水平距離 ($D_{sh}^{bnh'}$) である。

(a) けん引をかけた場合には、けん引をかけない場合に比べて $D_{ch}^{bnh'}$ が大となった。このことは、(c) において述べる $D_{sh}^{bnh'}$ が大となることの主要な基礎となる。

(b) けん引をかけた場合には、けん引をかけない場合に比べて、 $Pe^{bnh'}$ の股心の高さ ($H_c^{bnh'}$) は低くなり、同期の股心～後蹄傾角 ($\theta_{ch}^{bnh'}$) は小となった。これらのことは、 $D_{ch}^{bnh'}$ が大となることと関係している。そして、 $\theta_{ch}^{bnh'}$ が小となることには $Pe^{bnh'}$ の股関節角度 ($\theta_{sch}^{bnh'}$) が大となることと関係している。

(c) けん引をかけた場合には、けん引をかけない場合に比べて $D_{sh}^{bnh'}$ が大となった。

(d) けん引をかけた場合には、けん引をかけない場合に比べて、 $Pe^{bnh'}$ の肩心～後蹄斜長 ($L_{sh}^{bnh'}$) は大となり、同期の肩心～後蹄傾角 ($\theta_{sh}^{bnh'}$) は小となった。これらのことは、 $D_{sh}^{bnh'}$ が大となることと関係している。

(e) (a) において述べた $D_{ch}^{bnh'}$ の変化、および (c) において述べた $D_{sh}^{bnh'}$ の変化は、 $Pe^{bnh'}$ の仮定重心～後蹄水平距離 ($a D_{gh}^{bnh'}$) を大とすることに関係する。

(f) $D_{sh}^{bnh'}$ はけん引点が胴引による肩端の高さ (P_c) にある場合に、けん引点が高く、背の高さ (P_a)、背と肩端との中間の高さ (P_b) にある場合、あるいはけん引点が低く、胴下の高さ (P_d) にある場合に比べて大となった。そして、この $D_{sh}^{bnh'}$ の変化は、主として、その構成部分である $Pe^{bnh'}$ の肩心～股心水平距離 ($D_{sc}^{bnh'}$) が大となることによっている。そして、その $D_{sc}^{bnh'}$ の変化は、けん引点が低くなるにつれて $Pe^{bnh'}$ の肩心～股心傾角 ($\theta_{sc}^{bnh'}$)

が水平になることが1つの原因となっている。そして、さらに、その $D_{sc}^{bnh'}$ の変化には、 $Pe^{bnh'}$ のけん引点～後蹄傾角 ($\theta_{ph}^{bnh'}$) が関係していることが推測される。

(2) 反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$) のけん引線～後蹄垂直距離 ($D_{lh}^{bnh'}$) に関する機構： D_{lh} は A. 1. c において述べた如く解析 [$D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha)$] される。したがって、 D_{lh} は水平けん引の場合、角度けん引の場合、ともに、 H_{ph} が小であるほど、また、角度けん引の場合には D_{ph} が大であるほど小となる。

(a) $D_{lh}^{bnh'}$ は水平けん引の場合には、けん引量 (F) が大となるにつれて小となった。また、 D_{lh} はけん引点が胴引による背の高さにある場合には、角度けん引の場合においても、 F が大となるにつれて小となった。これは、けん引点がこのように高い場合には、 D_{lh} 、ひいては、けん引量による回転能率 ($F \cdot D_{lh}$) が著しく大となるので、これを小とする努力がなされるものと思われる。

(b) $Pe^{bnh'}$ のけん引点～後蹄間高 ($H_{ph}^{bnh'}$) は、けん引をかけた場合には、かけない場合に比べて低くなった。このことには、(1)・(b) において述べた $H_c^{bnh'}$ が低くなることが関係している。

(c) $Pe^{bnh'}$ のけん引点～後蹄水平距離 ($D_{ph}^{bnh'}$) は、けん引量が大となると、大となる場合が多かった。 $D_{ph}^{bnh'}$ の変化は、(1)・(a) において述べた $D_{ch}^{bnh'}$ の変化とはいくぶん異なっている。 $D_{ph}^{bnh'}$ の場合には鞍の移動が加わるからである。

b. 推進機能に関する姿勢機構

(1) 歩長 (S_p) に関する機構： S_p は A. 2. a において述べた如く解析 ($S_p = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'}$) できる。 $D_{ch}^{esh'}$ は、反対後肢負重終期が反対後肢脱重始期と隣接する歩期であるため、 $D_{ch}^{bnh'}$ とほとんど同様な変化をする。そして、その $D_{ch}^{bnh'}$ の変化に関する姿勢変化は、すでに、a・(1) において述べた。ここでは D_{ch}^{esh} の変化に関する姿勢変化について述べる。

(2) D_{ch}^{esh} は、けん引をかけた場合には、かけない場合に比べて大となった。そして、このことはつぎの姿勢変化が関係している。

(a) 後肢負重終期 (Pe^{esh}) の股心～後蹄傾角 (θ_{ch}^{esh}) は、けん引をかけた場合には、かけない場合に比べて小となった。

(b) Pe^{esh} の股心の高さ (H_c^{esh}) は、けん引をかけた場合には、かけない場合に比べて低くなった。このことは、(a) において述べた θ_{ch}^{esh} を小とすることに関係する。

(c) Pe^{esh} の股関節角度 (θ_{sch}^{esh}) は、けん引をかけた場合は、かけない場合に比べて大となった。このことは、(a) において述べた如く、 θ_{ch}^{esh} を小とする役割を果す。

C. 基礎理論の応用

1. けん引用役畜に適した生体条件 (体型・体重)

a. 平衡機能上有利な生体条件：A. 1. a. (1) において述べた「駐立した役畜にけん引をかけた場合の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡条件 (F：けん引量, D_{lh} ：けん引線へ後蹄垂直距離, W_p ：体重の回転能率関与量, D_{gh} ：重心～後蹄水平距離)」

$$F \cdot D_{lh} + W_p \cdot D_{gh} = 0 \dots\dots\dots \text{式 1}$$

A. 1. b において述べた「役畜がけん引歩行できるための動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡上の許容条件 [$D_{lh}^{bnh'}$ ：反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$) のけん引線～後蹄垂直距離, $W_p^{bnh'}$ ： $Pe^{bnh'}$ の体重の回転能率関与量, $D_{gh}^{bnh'}$ ： $Pe^{bnh'}$ の重心～後蹄水平距離)」,

$$\left| F \cdot D_{lh}^{bnh'} \right| \leq \left| W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} \right| \dots\dots\dots \text{式 2}$$

および A. 1. c において述べた「 D_{lh} の解析 (H_{ph} ：けん引点～後蹄間高, D_{ph} ：けん引点～後蹄水平距離, α ：けん引角度)」

$$D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \dots\dots\dots \text{式 3}$$

$$= D_{ph} \left(\frac{H_{ph}}{D_{ph}} - \tan \alpha \right) \sin (90^\circ - \alpha) \dots\dots\dots \text{式 4}$$

などの理論をよりどころとして、「けん引量のより大きい量による回転能率に平衡しうる生体条件」はつぎのように推論することができる。

(1) W_p あるいは $W_p^{bnh'}$ が大であること、ひいては、体重そのものが大であること (式1および2による)。

(2) D_{gh} あるいは $D_{gh}^{bnh'}$ が大であること (式1および式2による)。このことに関係して、

- (a) 体長が長く、軀幹および後肢が強いこと。
- (b) 重心が前寄りにある体型であること。

(3) D_{lh} あるいは $D_{lh}^{bnh'}$ が小であること (式1および式2による)。このことに関係して、

(a) 水平けん引 ($\alpha = 0^\circ$) の場合には「この場合の D_{lh} を計算すれば、 $D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) = (H_{ph} - 0) \times 1 = H_{ph}$ となるから」、 H_{ph} あるいは $H_{ph}^{bnh'}$ が低いこと (式3による)。ひいては、体高が低いこと。あるいは、 $H_{ph}^{bnh'}$ を低くする姿勢がとれる生体条件であること。

(b) 角度けん引の場合には、 $\frac{H_{ph}}{D_{ph}}$ あるいは $\frac{H_{ph}^{bnh'}}{D_{ph}^{bnh'}}$ が小であること (式4による)。ひいては、体長に対して体高が相対的に小であること。あるいは、 $\frac{H_{ph}^{bnh'}}{D_{ph}^{bnh'}}$ を小とする姿勢がとれる生体条件であること。

b. 推進機能上有利な生体条件

推進機能, とくに, 「歩長 (S_p) を大とするために有利な生体条件」は A. 2. b において述べた「 S_p の解析 [D_{ch}^{esh} : 後肢負重終期 (Pe^{esh}) の股心～後蹄水平距離, $D_{ch}^{esh'}$: 反対後肢負重終期 ($Pe^{esh'}$) の股心～後蹄水平距離, L_{ch}^{esh} : Pe^{esh} の股心～後蹄斜長, $L_{ch}^{esh'}$: $Pe^{esh'}$ の股心～後蹄斜長, $\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}}$: 後肢の支点期間の後肢の伸長率, θ_{ch}^{esh} : Pe^{esh} の股心～後蹄傾角, $\theta_{ch}^{esh'}$: $Pe^{esh'}$ の股心～後蹄傾角]

$$S_p = D_{ch}^{esh} - D_{ch}^{esh'} \dots\dots\dots \text{式 1}$$

$$= L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} - L_{ch}^{esh'} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh'} \dots\dots\dots \text{式 2}$$

$$= L_{ch}^{esh'} \left(\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} - \cos \theta_{ch}^{esh'} \right) \dots\dots\dots \text{式 3}$$

および, A. 2. c において述べた「 D_{ch}^{esh} の解析」

$$D_{ch}^{esh} = L_{ch}^{esh} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \dots\dots\dots \text{式 4}$$

$$= L_{ch}^{esh'} \cdot \frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}} \cdot \cos \theta_{ch}^{esh} \dots\dots\dots \text{式 5}$$

をよりどころとしてつぎのように推論できる。

(1) $D_{ch}^{esh'}$ が小でありうる生体条件であること (式1による)。

(a) $D_{ch}^{esh'}$ が小であるために動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡上から求められる生体条件: $D_{ch}^{esh'}$ は $B \cdot 2 \cdot b$ および $B \cdot 2 \cdot c$ (2) において述べた如く, 反対後肢脱重始期の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡条件 ($F \cdot D_{ih}^{bnh'} + W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} = 0$) に関係して, けん引量が大きくなるにつれて大とならなければならない性質のものである。したがって, この $D_{ch}^{esh'}$ が小であるためには, この平衡条件にしたがえば, つぎの如き生体条件が求められる。

① $W_p^{bnh'}$ が大であること。ひいては, 体重が大であること。

② 反対後肢脱重始期の重心～股心水平距離 ($D_{gc}^{bnh'}$), ($D_{gh}^{bnh'}$ に関して) が大であること。すなわち, 軀幹が長くて強いこと。あるいは, 重心が前寄りにある体型であること。

③ $D_{ih}^{bnh'}$ が小であること, すなわち, 水平けん引の場合には, 体高が低いか, あるいは, そのような姿勢がとれる生体条件であること。また, 角度けん引の場合には, 体長に対して体高が相対的に小であるか, あるいは, そのような姿勢がとれる生体条件であること [C・1・a・(3)参照]。

(b) $D_{ch}^{esh'}$ が小であるために、それを構成する形態上の要素に対して求められる生体条件：

① $L_{ch}^{esh'}$ が大であること (式2中の後半, すなわち, $D_{ch}^{esh'}$ に関する部分による)。

〔 $\theta_{ch}^{esh'} > 90^\circ$ 。したがって, $\cos \theta_{ch}^{esh'}$ の値は負(-)〕。これに関して、けん引をかけた場合の踏みみをよくすることができる生体条件 [(a)の①, ②, ③において述べた如き] であること。

② $\theta_{ch}^{esh'}$ が大であること (式2中の後半, すなわち $D_{ch}^{esh'}$ に関する部分による)。

(2) D_{ch}^{esh} が大である生体条件であること (式1による)。

(a) L_{ch}^{esh} が大であること (式4による)。すなわち、伸展状態にある場合の後肢の長さが長いこと。これに関して、

① $L_{ch}^{esh'}$ が大であること (式4から式5に導かれる関係のうち, $L_{ch}^{esh} = L_{ch}^{esh'}$.

$\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}}$ による)。このことは、体の縦断面に沿う回転運動の平衡に関して述べた生体条件とは矛盾するところがある。したがって、つぎのように解釈されねばならない。すなわち、役畜の体の縦断面に沿う回転運動の平衡上有利な生体条件を保ちながら体格が大であること。また、軽い荷物を引いて速く歩くことが要求せられる役畜は、重い荷物を引く役畜と類似の生体条件を有しながら、いくぶん後肢が長いこと。

② $\frac{L_{ch}^{esh}}{L_{ch}^{esh'}}$ が大であること (式5による)。すなわち、後肢がよく伸展すること。このた

めには、後肢の骨格・筋肉の構成がよく、筋肉がよく発達していること。

(b) θ_{ch}^{esh} が小であること (式5による)。すなわち、負重しながら後方に伸展した場合の後肢が、よく前傾しうること。これに関連して、

① Pe^{esh} の股関節角度 (θ_{sch}^{esh}) がよく開大しうること。

② Pe^{esh} の股心の高さ (H_c^{esh}) がよく低下しうること。

すなわち、股関節の構成がよく、これを開張する筋肉がよく発達していること。

2. 合理的なけん引方法

a. 平衡上有利なけん引方法： $A \cdot 1 \cdot a \cdot (1)$ において述べた「駐立した役畜にけん引をかけた場合の動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡条件 (F ：けん引量, D_{lh} ：けん引線～後蹄垂直距離, W_p ：体重の回転能率関与量, D_{gh} ：重心～後蹄水平距離)】

$$F \cdot D_{lh} + W_p \cdot D_{gh} = 0 \dots\dots\dots \text{式 1}$$

$A \cdot 1 \cdot b$ において述べた「役畜がけん引歩行できるための動物体の縦断面に沿う回転運動の平衡上の許容条件 [$D_{lh}^{bnh'}$ ：反対後肢脱重始期 ($Pe^{bnh'}$) のけん引線～後蹄垂直距離,

$W_p^{bnh'}$ ： $Pe^{bnh'}$ の体重の回転能率関与量, $D_{gh}^{bnh'}$ ： $Pe^{bnh'}$ の重心～後蹄水平距離] 』

$$\left| F \cdot D_{lh}^{bnh'} \right| \leq \left| W_p^{bnh'} \cdot D_{gh}^{bnh'} \right| \dots\dots\dots \text{式 2}$$

および A1・c において述べた「 D_{lh} の解析 (H_{ph} : けん引点～後蹄間高, D_{ph} : けん引点～後蹄水平距離, α : けん引角度)」

$$D_{lh} = (H_{ph} - D_{ph} \cdot \tan \alpha) \sin (90^\circ - \alpha) \dots\dots\dots \text{式 3}$$

$$= D_{ph} \left(\frac{H_{ph}}{D_{ph}} - \tan \alpha \right) \sin (90^\circ - \alpha) \dots\dots\dots \text{式 4}$$

などの理論をよりどころとして、「けん引量を、より小なる回転能率として働かせるけん引のかけ方」、あるいは、「けん引量のより大きい量による回転能率に平衡しうるようにするけん引方法」はつぎのように推論できる。

- (1) D_{lh} あるいは $D_{lh}^{bnh'}$ を小とすること (式1および式2による)。このことに関係して、
 - (a) 水平けん引 ($\alpha=0^\circ$) の場合および角度けん引の場合、ともに、 H_{ph} あるいは $H_{ph}^{bnh'}$ を低くすること。すなわち、けん引点を低くすること (式3による)。
 - (b) 角度けん引の場合には、 D_{ph} あるいは $D_{ph}^{bnh'}$ を大とすること (式3による)。すなわち、けん引点を前方に位置せしめること。
 - (c) α を大とすること (式3による)。
- (2) W_p あるいは $W_p^{bnh'}$ を大とすること (式1および式2による)。たとえば、御者が馬の背に乗ること。
 - (3) D_{gh} あるいは $D_{gh}^{bnh'}$ を大とすること (式1および式2による)。たとえば、
 - (a) けん引点が胴引による肩端の高さにある場合には長軀の状態となり、したがって、 $D_{gh}^{bnh'}$ を大とすることができるものと推定される。
 - (b) 背の前部あるいは頸に重量を加えること。たとえば、御者がけん引を行なう馬の背あるいは頸に乗る場合には、 W_p あるいは $W_p^{bnh'}$ を大とするばかりでなく、その位置が前方にあるほど、 D_{gh} あるいは $D_{gh}^{bnh'}$ を大とすることができる。

b. 推進上有利なけん引方法

- (1) 歩長 (S_p) を大とするために有利なけん引方法
 - (a) 比較的軽いけん引の実験において、 S_p はけん引点が胴引による背と肩端との中央の高さにある場合に、肩端の高さあるいは胴下の高さにある場合に比べて大となった。
 - (b) S_p は実験上、総括的にいって、けん引角度が 10° の場合に、 0° あるいは 20° の場合に比べて大となった。勿論、この問題については、路面の凹凸・傾斜、力学上の力の分解などを考慮に入れて、さらに詳細な研究が行なわれなければならないであろう。

(2) 蹄の固定上有利なけん引方法 : けん引角度が大となるにつれて、けん引量の四肢負重総量への転換量(F_t)が大となる。このことは、後蹄の固定上有利に働くものと推定される。