

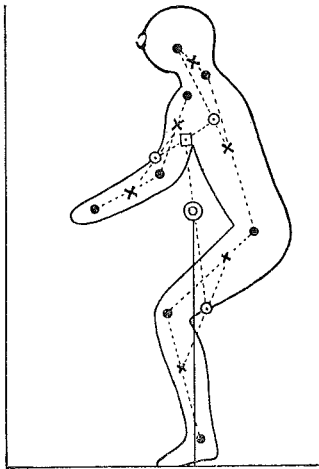
# 柔道の運動力学的研究

東京大学 猪飼道夫

東京教育大学 松本芳三

柔道の技の理を最もよく現すものに「柔能く剛を制する」という言葉がある。これは端的に言って、小さい体力の持主でも、自分より大きな体力を持つ者に勝つことができるという意味を積極的に表現したものである。柔道技術の本質であるこの柔の理を実際に可能ならしめるものは何であるか。

第1図 Knollによる重心の作図法

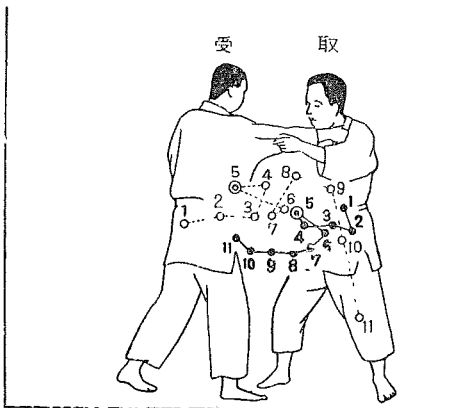


これが科学的解明の方法として私共は、まず柔道の技を分析して運動力学的に観察し、さらに心理学的、生理学的な考究をも加えて総合したいと考えるのである。今回の発表はこれが研究の第一報であるが、柔道の投技中より代表的な技を選んで高速度写真に撮り、その連続写真像による運動力学的な結果を導き出したものである。言い換えると、重力の場において各投技が、いかなる対人関係を以て「崩し」「作り」「掛け」を行っているかを比較検討した。

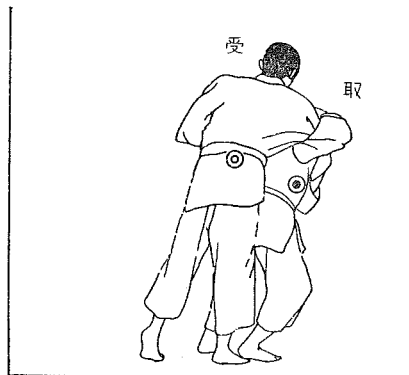
さて撮影は16ミリ撮影機で、速度は毎秒32コマとした。技としては手技から背負投、肩車、腰技からは払腰、釣込腰、足技からは膝車、大外刈を、真捨身技では巴投、横捨身技では浮技の八本を選び、東京教育大学体育学部の学生飯田、樋口五段、児玉、榎本各三段及び松本の5名で交互に演技して行い、側面から2回、頭上から1回撮り、それらの連続写真像から、

だいたい「クノールの作図法」によって重心を測定し、次のような結果とその考察を得たのである。

第2図 背負投



第3図 掛けの瞬間



## 1. 重心の軌跡と「崩し」「作り」「掛け」との関係

### (1) 手技——背負投

(註) 取の軌跡は実線、受の軌跡は点線を以て現わし、◎印及び○印はそれぞれ掛けの瞬間に於ける取と受の重心の位置を示した(第2図参照)。なお軌跡上の数字は $\frac{5}{32}$ 秒ずつの重心を順次示したものである。(釣込腰を除く)。

a. 受の軌跡が3から4・5と急に高まっていることは、受が前進している間に、釣り込まれて崩されたことを現わす。取の軌跡も、4・5までは大した変化がない。これは取の作りが、間合をつめながらも、受の動の慣性を利用し、両手を働かせて受をひきつけ、その胸部を支点にして前方に廻転運動を起させる一本背負の理合に適合させようとしたものである。

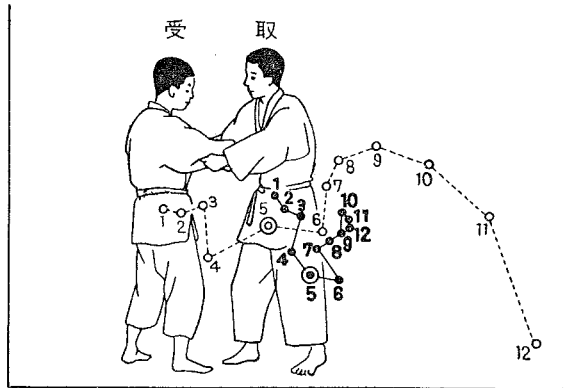
b. 取の掛け以後の軌跡が低くなり、受の軌跡が反対に高まっている形は、受を引きつけた取が体の前屈と膝を延ばす力の合力によって受を一廻転させる関係を明らかにしている。

### (2) 手技——肩車

肩車のこつは受の重心の直下に取の重心がくるようにし、無理なく肩の上にかつぎ上げることであろう。

第4図 肩 車

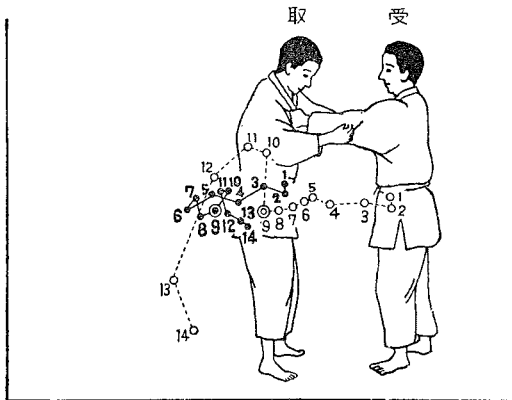
a. 受の軌跡が3から4へと急落していることは、受が前のめりに崩されたことを示し、これに対する取の軌跡が、3から4へと極限と思われる程度にまで低下し、受、取の軌跡が各5の関係となって完全な作りができています。取、受6・7・8・9の軌跡は共に直上し、力学にかなった「掛け」が行われたことを示している。



### (3) 腰技——払腰

a. 受の崩れる軌跡は、技を掛けられる9まで水平に動いている。同じく前方に崩れる場合でも

第5図 払 腰



釣り込まれる(背負投)のと、自然体の形のまま前方に傾く(払腰)のと、やや前かがみとなって前のめりに崩れる(肩車)のとでは、軌跡の方向が明らかに異っている。取の軌跡は、受との間合を少しずつ詰めながらだいたい水平に後方へ動いて受を崩している。

b. 受を8・9と作った取は、自分も8・9とやや重心を下げながら作り、一気に掛けて、受を腰に乗せながら脚で強く払い上げている。

### (4) 腰技——釣込腰

a. 受の軌跡は「掛け」の3まで水平に進んでいる。釣り込んで腰に乗せる釣込腰の要領からいうと、崩しの軌跡はもっと上昇のカー

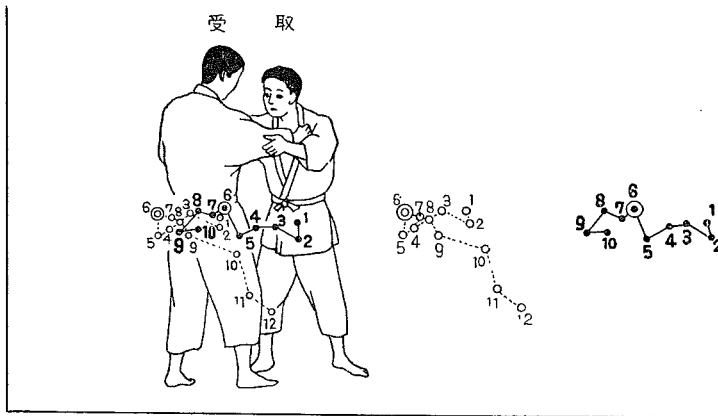
ブを示さなければならない。第6図のように1から2が上昇していないときは、崩しに無理ができるのも当然である。

b. 取、受各3・4・5の軌跡により受の重心の下方に取の重心が位置し、受の前腰に取の後腰が当り、そこを支点にして受が大きく一廻転する釣込腰の理が判然と出ている。

(5) 足技——膝車

a. 取と受の6までの軌跡は、殆ど同形である。しかし双方共に5から6へと急に高まっている所に、受が浮い

第7図 膝 車



て崩れた極限が見られ、この一瞬を逃さず掛けた取の動作の合理性が首肯される。

b. 6で掛けた取は、両手を働かせて体と共に受を強くひねり、ひねられた受は膝を支点に低く廻転する関係が、取の前方に伸びた軌跡と、受の下降する軌跡とによって推察出来る。

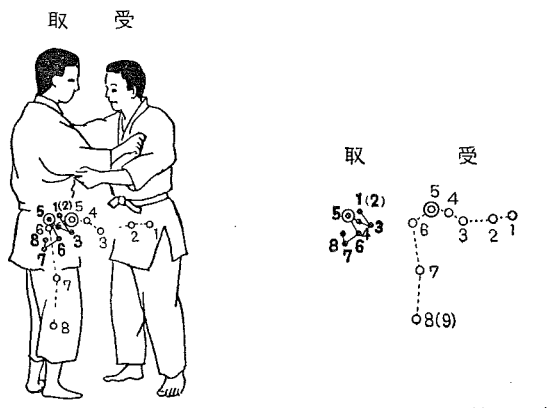
(6) 足技——大外刈

第8図 大 外 刈

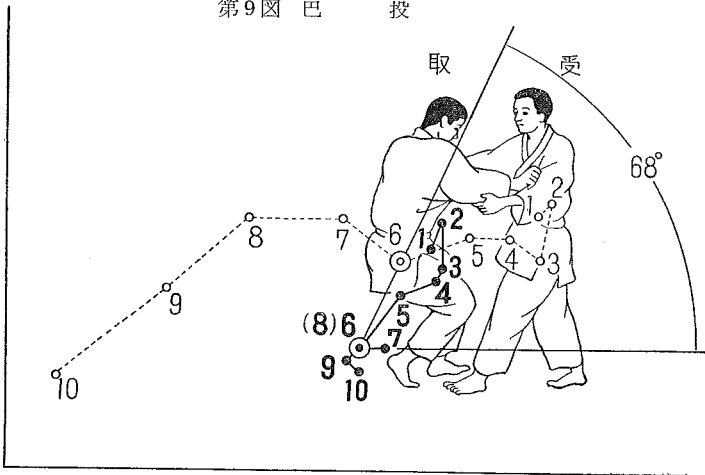
a. 取は受の左足を出させつつ右後隅に崩し、受の右踵にその重みを載せる。この間の受の軌跡を見ると、1・2・3は左足を出させられた所、3から4・5への上昇は完全に右後隅に浮かされた所であろう。

b. 受の軌跡の頂点で取は技を掛けている。取の刈る動作は、その重心を低め、刈られた受は直下に落下することが明瞭に描かれている。

(7) 真捨身技——巴投



第9図 巴 投



a. 受を前のめりに崩しつつ取が間合をつめて受の重心の下方に低く自分の重心を位置させる真捨身技独得の作りが、第9図の軌跡にはっきりと現われている。

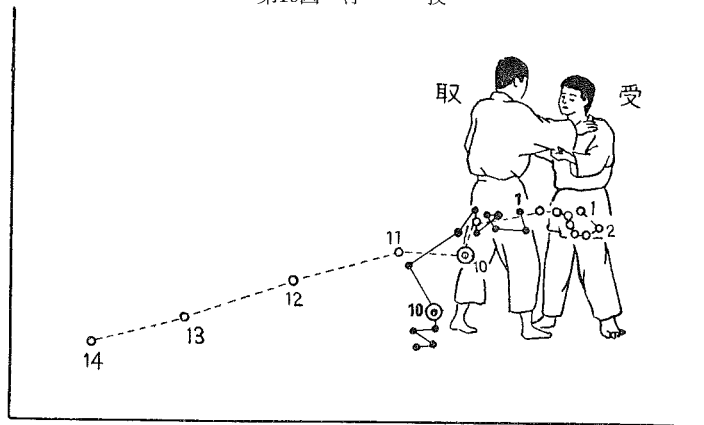
b. 技を掛けられてからの受の軌跡は他の技よりも高くかつ長く延び、半円を描いて受が大きく投げられている様子がうかがわれる。

(8) 横捨身技——浮技

a. 受の8までのジグザグ軌跡を見ると、取が受に前進力をつけながら右前隅に崩そうとしている意図がわかる。受の6・7・8・9と円味を帯びた軌跡は、加速度をつけられ前方に崩れ去っている受を示している。受を作った取は素早く体を捨てて掛けているが、これは取の軌跡が急に下方に転向していることで明瞭であろう。

b. 受の軌跡が9から10へと急落していることは注意を要する。理想的に取が「崩し」「作り」「掛け」れば7・8・9・10・11・12となめらかな軌跡を描くのではあるまいか。これは取の軌跡が9から10へと前に

第10図 浮 技



移行していることにも関係していると考えられ、取の体の捨て方に検討すべきものがあるように推察される。

2. 技の利きと重心の関係

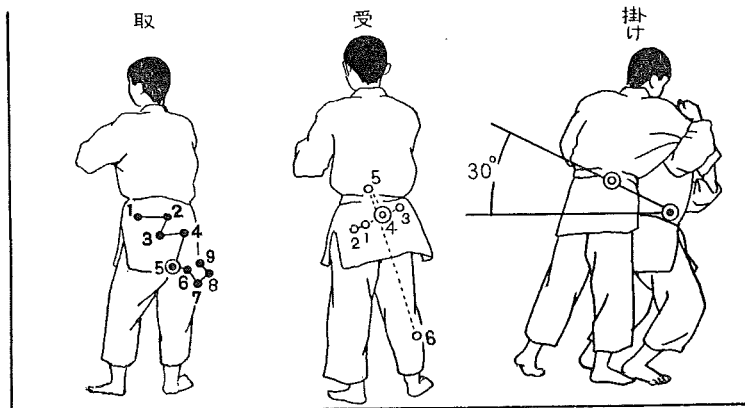
(1) 背負投(一本背負)

この技は取が廻り込む力、両膝を伸す力、体を前屈さす力の合力により、取の背を支点とする廻転力を生じさせて投げるのである。

a. 掛けの際の重心と取の重心の関係を見ると約30度の開きがある。この開きは力学的にはもっと大きい方が望ましいが、技の利きからいうと取の右腕で受の胸部を固定することが前提となるから無理である。この難点は受に与えた前進力で補うより他はない。この角度の大きいことを第一にし、引きつけを第二にすれば背負落に近くなる。

b. 重心の位置を「掛け」の所まで持ってくるために、取は重心を落しつつ他方受を釣り込んで

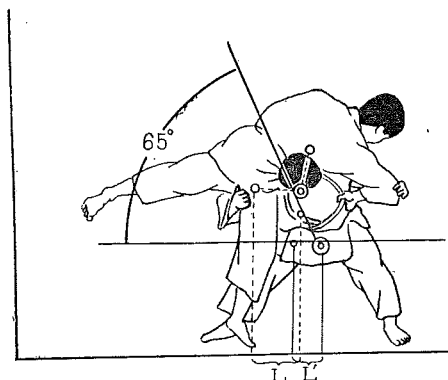
第11図 背負投(一本背負)



最も効果大きい。しかし受の前進力を見込み、取の右手の引きと左手の助けを加えて考えると、第12図の65度の角度も妥当といえよう。

b. 「掛け」の $\frac{5}{32}$ 秒前からの距離であるLとL'を考察すると、LはよいとしてL'は余りにも動き過ぎではあるまいか。この動揺距離を縮めることと、前屈した上体を真直にすることの必要なことを技の利きの上から指摘したい。両膝をのばす力と両腕特に左手の引く力との合力が、肩を支点にしての廻転力を作って肩車の技のききが現われるのであるから、第12図に見られるようなL'の大きいことは不利である。

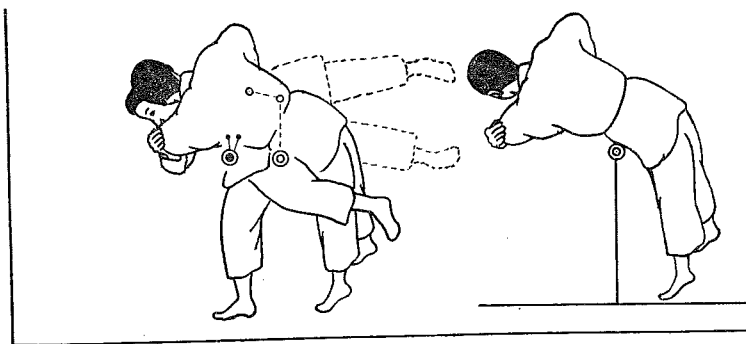
第12図 肩車



### (3) 払腰

a. 払腰は第13図のように前隅に崩す技であるが、その重心線は基底面の外に大きく飛び出している。力学的には不可能なこの形は受が取の柔道衣を握り利用していることから可能となるのであるが、柔道の技の崩しには、いつもこのことを念願におこななければ本当の崩しはできない。更に同

第13図 払腰



その重心を高め、その差を大にしている。

### (2) 肩車

a. 受を右前隅に崩して低く掛けに入った取が、受を両肩にかつぎ上げようとする時、最も大切なことは、取の重心と受の重心のなす角度であろう。この角度が直角になれば取の重心は受の重心線の上に位置し、力学的に

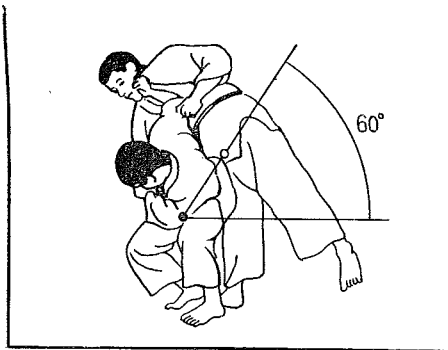
図により受が剛体となっていることもよく分る。

b. 払腰の利きは、腰に乗りかけた受の体を、両手でひきつけながら、体の廻り込みと、片脚による払い上げ方如何にかかる。第13図には受の重心が真上に、高く持ち上げられる推移が明らかにされると共に、種々のことが示唆されるのである。

(4) 釣 込 腰

a. 後腰に受を乗せ、これをあげるためには受の重心の下方に取の重心を持ってこなければならない。

第14図 釣 込 腰



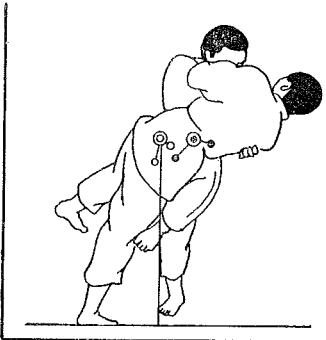
この場合の角度を類似の他の技と比較すると、肩車65度、巴投68度で釣込腰の60度より大きい。これは支える位置による相異から来たものであるが、だいたい60度から70度位までの間が普通のようなのである。取はこの位置に受を持ち来すため、崩しに於ける釣り込みと膝を曲げての自分の作りに苦心を払うのである。

b. 釣り込んで、受の重心線を前に移せば移すほど、取の両手の引きは利き、受の足底と畳との間の摩擦力も少なくなり、従って掛けた場合の技の冴えが出てくる。この技の成否が取の釣り込み方如何にある所以もここにある。

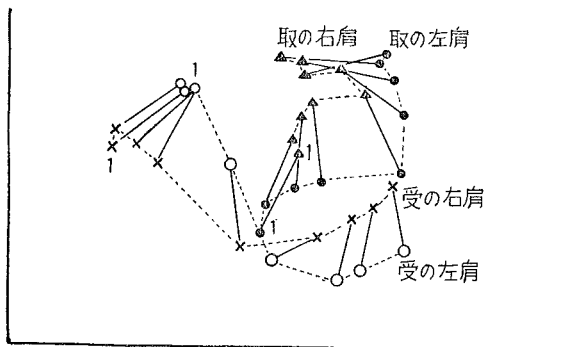
(5) 膝 車

a. 第15図における受の重心線は基底面よりはるかに飛び出している。崩れ去った受は容易に取のひねりで、その左足先を支点に倒れる態勢である。

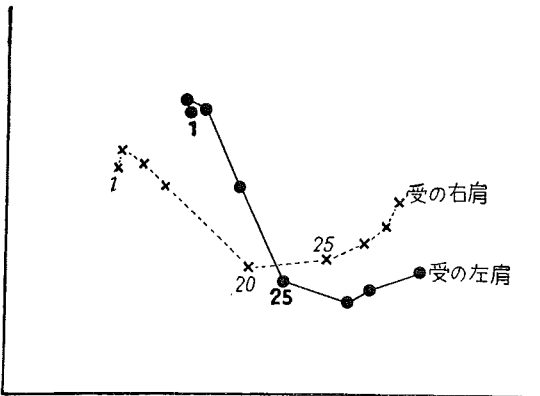
第15図 膝 車



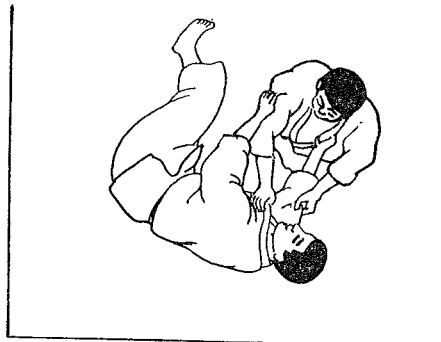
第16図 膝 車



第17図 膝 車



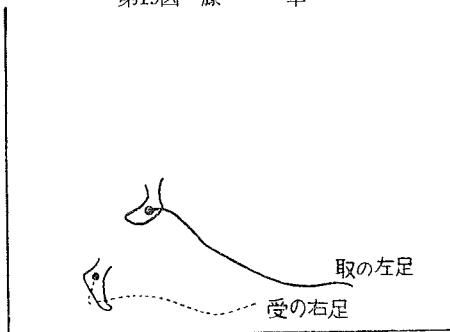
第18図 膝 車



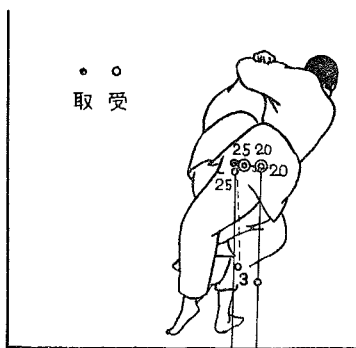
b. 第15図の態勢から取のひねりが行われるのであるが、これは頭上から撮った写真をもとにして作った第16, 17, 18の3図によりその過程が推察されよう。

c. 受の右足と取の左足の運びを第19図のくるぶしの進む両線によって比較検討すると、(イ)受の右足が最後に上っていることは、前方への崩れを示し、同時にこれによって受に前進力を発せしめたことがうかがわれる。(ロ)取の左足には最短距離を進もうとする意図が見られる。最後の不規則線は受の右足の上下動と関係があり、微妙な技の理がうかがわれよう。

第19図 膝 車



第20図 大 外 刈



(6) 大 外 刈

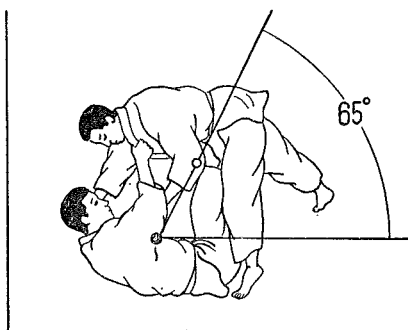
a. 右後隅に崩れた受に対する取の右手の押しと、右脚の刈りは偶力となって働く。取の重心が $\frac{20}{32}$ 秒時、 $\frac{25}{32}$ 秒時と殆ど同一個所に固定していることはこれを証するものである。

b. 「掛け」によって受は直下に落ちている。一般の試合では無理な力で押し倒したりする 경우가少くないが(この時は $\frac{20}{32}$ 秒時、 $\frac{25}{32}$ 秒時が大きく移動する),大外刈の技は第8図の軌跡をたどるようであって始めて冴えるのである。

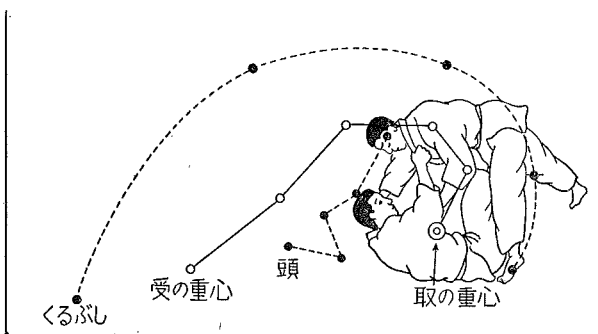
(7) 巴 投

a. 取と受が完全に作られた第21図を見ると、その重心の相対位置は約65度である。これは受の前進力の

第21図 巴 投



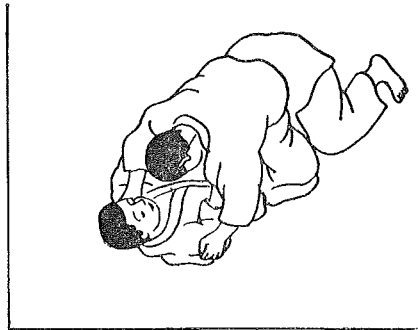
第22図 巴 投



利用を考えての作りとして諒解される。反対に受がこの事柄を防禦に利用し、体を下して前への移動をとめる仕方は練習や試合でよく見られる。

b. 掛けの動作は挺子の理の応用である。捨身による引く力と跳ね上げる力が調和して働き受が大きく廻転する形は、受の重心と頭の中心と左足のくるぶしの軌跡を示す第22図によって明らかである。

第23図 掛 け (巴投)



c. 上から撮った第23図により真捨身技の意味が推量されるであろう。

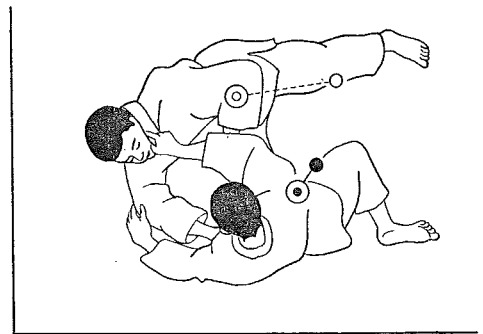
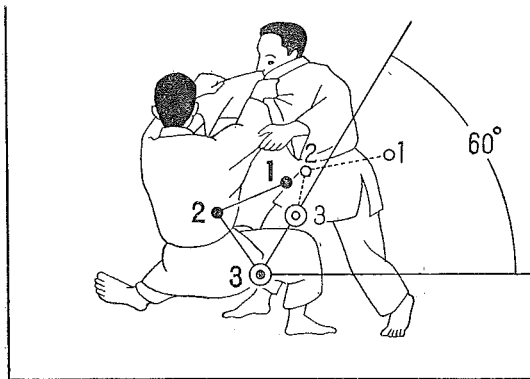
#### (8) 浮 技

a. 取の受に働かす力は、動の慣性によって受を右前隅へ前進させる力と、捨身によって生ずる力との合力である。第24, 25の両図はこれが考察の参考になるう。

b. 「掛け」には欠点もあるが、ともかく受と取との重心の角度が60度を示している事は、取の身を捨てる位置に一つの示唆を与えるものであるう。

第24図 浮 技

第25図 浮 技



### 3. 各技の重心の速度曲線から見た取と受との相互関係

八つの技の重心の速度曲線から概括して結論されることは、

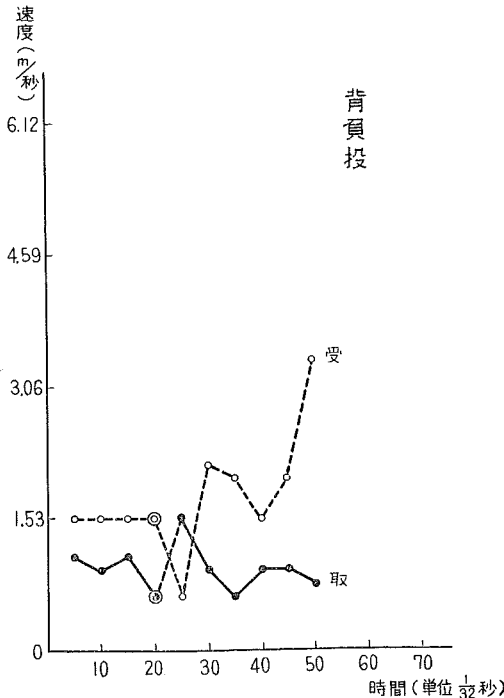
a. 取の速度が、崩しから投げ終るまで、受の速度より遅いことは勿論であるが、その著しい差は「掛け」の動作以後に現われている。

b. 取の「掛け」の時期にはもっと大きな速度が現われるものと期待したが、各図では意外に小さく、しかも変化の多い曲線となっていた。これは実演者が形を演ずる時のような速度で実際に行った結果と考えられるが、烈しい乱取や試合の場合にはもっと中央が高い形を示すのではあるまいか。

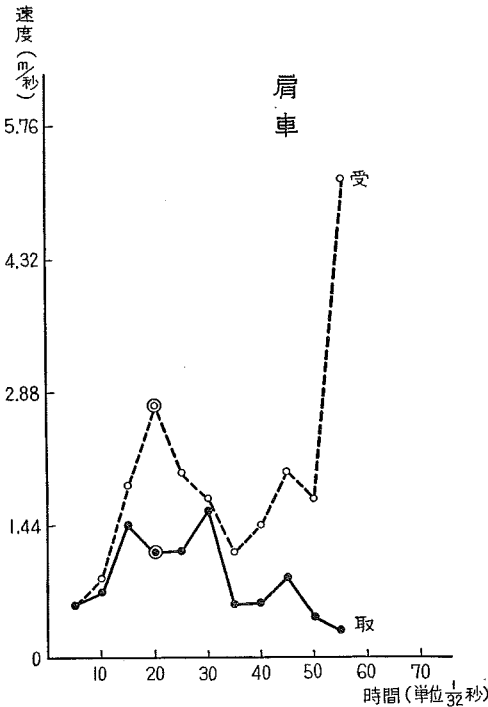
c. 受の示した速度曲線は予想した通りであったが、これにより技が大体1秒から2秒位の間に施され、掛けの動作により受が非常な速度で投げられていることが分る。



第26図 背負投



第27図 肩車



各技の重心の速度曲線を示すと次のとおりである。

(1) 背負投 (一本背負)

受が $\frac{25}{32}$ 秒時で速度を落した理由は疑問である。しいて考えると、このことは取の $\frac{20}{32}$ 秒時の掛けの時、速度がにぶったことに連関していると思われる。技の理会上から取に反省をうながす点であろう。

(2) 肩車

掛けのとき、受が大きな速度で取の肩にかつき上げられていることが注目される。技が利くかどうかはこの一瞬にあるともいえよう。取と受とが示す両曲線は妥当である。

(3) 払腰

受の崩れる速度よりも取が自分を作る速度の方が大であることは、払腰の作りの複雑さを示すものであろう。受の $\frac{55}{32}$ 秒時の落差は受が払い上げられ、次いで落下する際の一時的停滞と推察する。

(4) 釣込腰

崩し、作り、掛けと徐々に速度を落しながら、最後に掛けた際には非常な勢いで廻転させて投げる釣込腰の特色が速度曲線に鮮かに出ている。

(5) 膝車

受に比較し、取は積極的に動いて技を掛けている。 $\frac{40}{32}$ 秒時まで受が取より速度の大きいのは $\frac{15}{32}$ 秒時一回である。このことは取が技を施すのに如何に苦心したかの証左ともなる。

(6) 大外刈

第31図の速度曲線により取が内円の中心となって、外円の受を巧みに崩し、作り、掛けている様が想像できる。まさに技の理に合ったものとする。

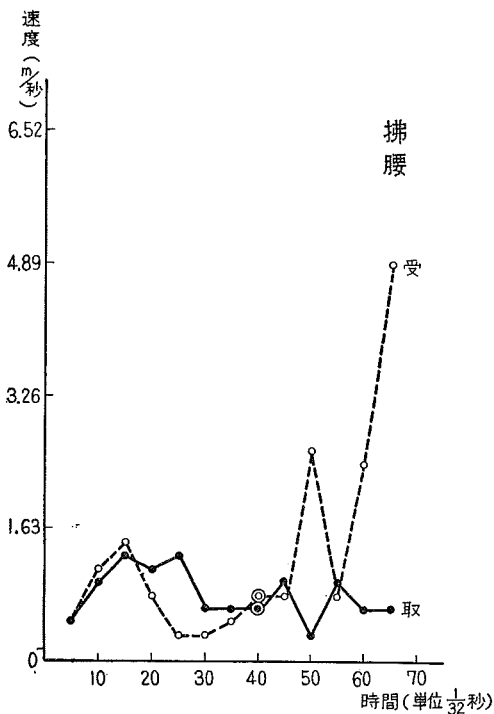
(7) 巴投

受が加速度を加えながら大円を描いて投げられて行く形が速度曲線に明かに出ている。取としては $\frac{15}{32}$ 秒時から $\frac{25}{32}$ 秒時までが最緊張の時であろうが、技が見事に利けば、この線の延長に受を急速調で投げ得られる。

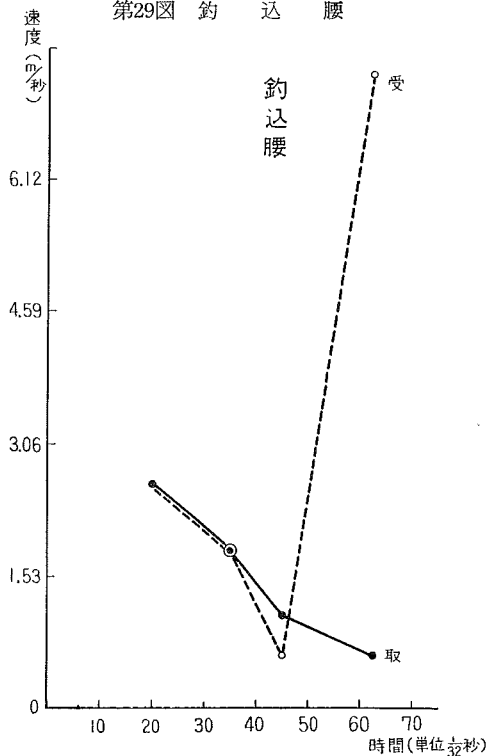
(8) 浮技

取が身を捨てる場合の速度の大であることは、

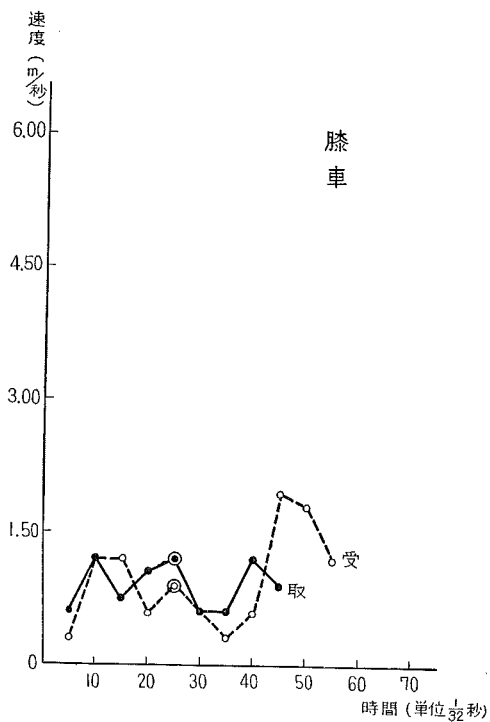
第28図 払 腰



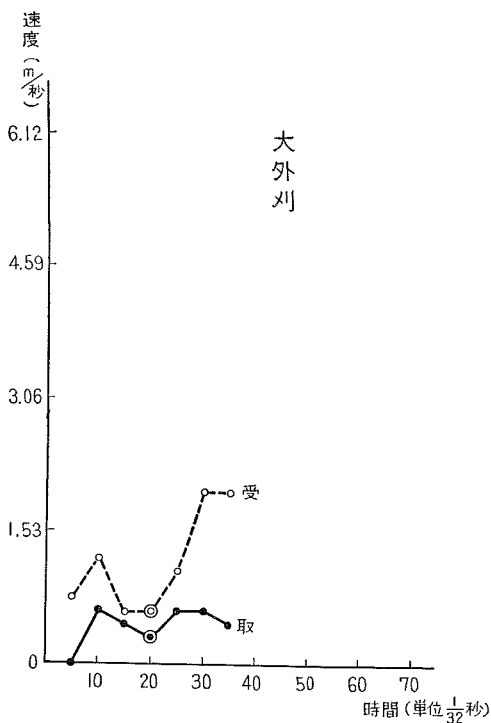
第29図 釣 込 腰

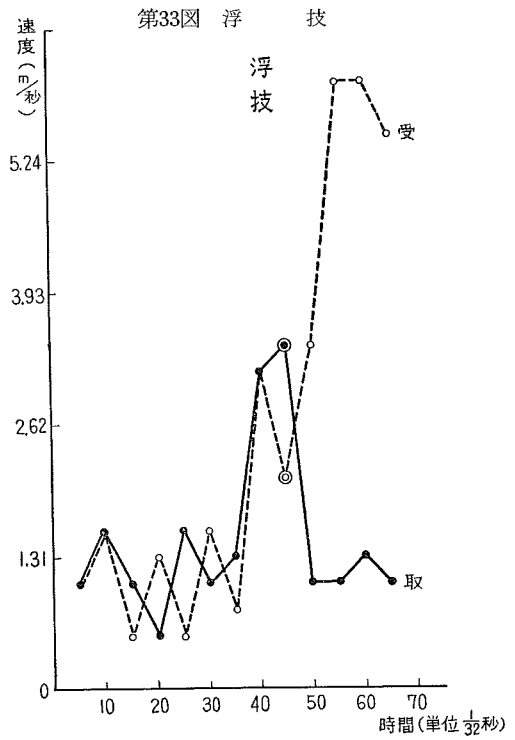
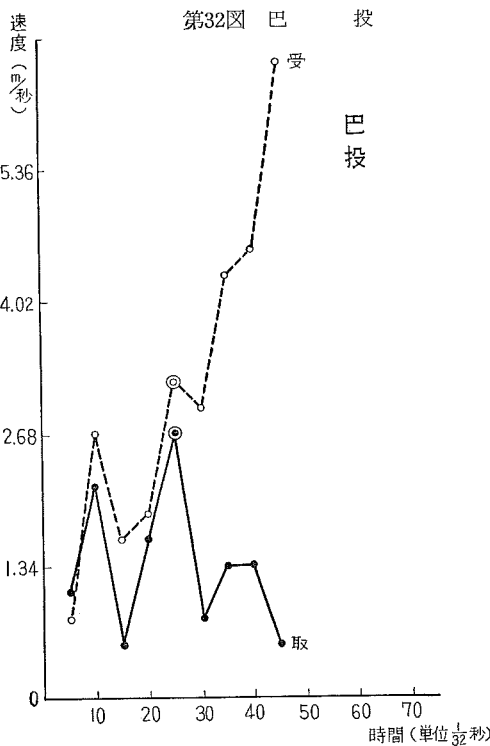


第30図 膝 車



第31図 大 外 刈





何と言ってもこの技の特長で、それあるがために捨身の力も出てくるというものである。また技が掛ったとき、受が投げられる速度の大きいことも横捨身技の特長であろう。

4. 各技の着地衝撃について

各技について、受が投げられたとき、身体の重心が地床に対して如何なる速度で衝突するか、また如何なる角度で落下するかを算出し第1表に示した。落下の角度は浮技において最も小さく、大外刈において最も大きく40度から90度の範囲にある。落下速度を着地直前の $\frac{5}{32}$ 秒間の測定値から算出すると、膝車において最小で秒速1.95米、釣込腰において最大で秒速7米である。落下速度は予想されるよりも小さく、スキー・ジャンプの着地速度の秒速30米に比べると約4分の1である。これは柔道においては通常自由落下と異り、取と受との両者において相互に重心の大きい運動を制御していることに関係すると思われる。また一方においては、倒れるときに受身をして、衝撃を少

第一表

技名	落下速度(秒)	落下角(度)	掛けの角(度)	衝撃運動量(kg m/秒)
背負投	3.37	74	30	239~249
肩車	5.18	70	65	315~336
拂腰	4.90	70	0	299~318
釣込腰	7.00	60	60	445~518
膝車	1.95	68	0	130~140
大外刈	1.98	90	0	146~146
巴投	5.89	42	68	291~436
浮技	6.02	40	60	249~391

くしようとする動作が落下速度を小さくする結果を来すとも考えられる。

着地衝撃を運動量によって表わすと第1表のようになる。倒れるときの角度 $\theta$ によって衝撃の大きさは異なり、角度 $\theta$ が90度のときは最大、角度がそれより小さくなるにつれて小さくなる。そのときの衝撃力は、

$$mv \sin \theta$$

としてあらわされる。但し $m$ は体重、 $v$ は落下速度である。表には $\theta$ を倒れ

る時の角度にとったものと、90度にとったものとの両者を掲げた。これらの数字はスキー飛躍競技において、飛行径路通りの角度で接地した場合の衝撃力と類似したものである。

#### 参考文献

- (1) 福田, 長島, 松井, 「スキー飛躍競技における飛行径路と着陸時の衝撃力」(『体育学研究』第二号 昭和26年 187—192)
- (2) W. Knoll: Der Bewegungsablauf bei sportlicher Arbeit (1936)