N. SUGANUMA, H. HAGIWARA and M. SHIMADA., On Some
Fundamental Factors in Kinesiologic Study by a
Technique of Repetitive Exposure in Daytime.

昼間に於ける動作の重層撮影に関する基礎条件について

広島大学教育学部体育学科 菅 沼 昇 萩 原 仁
島 田 三 千 男

緒 言

私達は体育学の基礎づけに キネジオロジーの重要性に鑑み第六回日本体育学会に於て、「走運動に関する若干の実測について⁶⁾」,「頻発閃光電球を使用した動態撮影による短距離走の研究⁵⁾」及び「跳箱の踏切りに就て⁷⁾」と一連の運動学研究に関する若干の方法を発表したが、此の内、頻発閃光電球使用による動態撮影は、フォームの時間的推移の具体的把握・ピッチの測定・身体各部の軌跡追求など運動の分析的研究上 非常に有意義であると考え⁴⁾。

これらに示されている様な重層撮影に関する試みはマレー³⁾によつて始められ、其の後かかる試みは若干なされているが²⁾³⁾、之等の基礎的条件に就ての十分な検討がなされていない。

頻発閃光電球を使用する重層撮影は其の一部を一応解決するものであるが、之は夜間又は暗室という限られた環境の許に実施しなければならぬ弱点を有する。之は高度な技術的能力の発揮を困難とすると共に種々の傷害をも起し易い恐れがある。そこで私達は此の欠点を除去し昼間に於ても同様な結果を得たいと思ひ、セクター式の昼間動態撮影装置を試作し昼間に於ける動作の重層撮影を行い其の基礎的な条件を追求した所、若干の所見を得たので報告することにする。

実験方法

同一のフィルムの面に動作の重層撮影を行

う為にはシャッターを短時間に、而も頻繁に
きる必要があるが之をカメラのシャッター自
身に就て機械的に行うことは今の所困難であ
る。そこで私達は第1図の如き構造の装置を
試作した。

第1図 昼間動態撮影試作装置の構造図
カメラの露出時間が1~10秒で長いから遮蔽は充分にする必要がある。マレーの方法の手動式セクターの部分
が交流電源になつていないに過ぎない。
(本文説明参照。)

即ちモーターによつて円い黒板を回転させ、その黒板の一部を穿孔し、その孔からのみ光を通すことによつてフィルムの感光に制限を加えて、二重或は三重四重……の区分露出を行うことにより同一画面に動態の推移を記録させるようにした。一方加減速装置を取付けて電源電圧を可変にして黒板の回転速度を自由にされるようにしてあるので動態の移動度に対応して露出時間や孔の開放角度や受像数を任意にする様にしている。

実験成績

第1図に示されている装置により室内で

500ワットのスポットライト2個を被写体へ1.5mの距離から投射し、2秒間に1回のセクターにより10秒の間シャッターを開放し、フィルム露出時間約1/100秒という撮影条件に、背景は黒の暗幕を張つて撮つたのが第2図の自然倒立経過である。

第2図 自然倒立の経過

500ワットのスポットライト2個被写体までの距離は1.5m. 露出時間10秒セクター1/100秒, 絞り1.8ネオパンSS, FD.122, FD.105,

第2図に撮してあるポーズは約5個であるが各ポーズはかなり明瞭であると言つて差支えないけれども此の一連の推移に於て重層度の多い所(此の場合3個)は明瞭でないことから考えると此の部分に対する露出は以上の様な条件に拘らず、同一部分が3個重層している為に約3/100秒の露出時間となり、結果的に露出過多となつてゐる。

第3図は戸外に於て歩行運動を撮影したものである。此の時の条件は晴天4-5秒間のシャッター開放、フィルム露出時間各像約1/300秒, 絞り1.8である。

第3図 自然歩行の経過

晝間戸外に於ける動態撮影であるが、セクター式動態撮影装置製作中にうつしたものの。各像の露出時間1/300sec. 各像間の経過時間は1/20秒カメラのシャッター約5秒間開放, 絞り1.8ネオパンSS FD 122 FD 105

之によるとバックが黒布の所では像が比較的明瞭であるが上部の黒い紙による背景の部分では紙面の光沢に原因する太陽光線の乱反射の影響でフィルム面が過度の感光を強いられ像が不明瞭となり、更に右方の白壁の部分では強烈な反射光によつて露出過度となり白色によるフィルム感光は各像を受像せしめず消滅せしめている。此の事実は背景に関する条件が重要であることを意味する。

絞りにより光量を加減して撮影した成績は第4図 a. b. c. の如くであるが、之によると光量を余り制限すると成功しないことが判る

即ち第4図 a. c. では印画紙現象条件が同じであるから撮影時の光量が重要な意義を有することを証明していると思う。即ち強烈な太陽光線の許でも絞り過ぎると被写体の分離は不良であるが、光量が充分である場合には背景に於ける光線の乱反射に原因する不均一な硬さが認められるけれども、被写体自身の分離は比較的確實で明瞭である。第4図 b は絞り5.6という条件であるが、やはり両者の中間調を示して此の撮影状態を見ても露出時間が1/1000秒前後の程度では絞りは

第4図 重層撮影に於ける光量の制限
a, b, c の絞りは夫々 8, 0.5, 63.5 露出時間
は 1.0 秒, セクター 1/1000 秒 ネオ
パン SS FD 112 現像

1.8—4.0 という様に略々全開乃至夫に近い条件が必要と思われる。

次に露出時間に就て述べると此の場合モーターの回転速度と黒い円盤にあげられたセクターの広さによつて決定される。即ち露出時間を T , 回転速度 (毎秒の回転数) を C , セクターの広さを A とすると之等の因子の間には次の関係式がなりたつ。

$$T = \frac{A}{360 \times C} \dots\dots\dots (I)$$

そこで撮影条件を露出時間を 1/1000 秒位にして且つ (I) の条件を満足する様にして

一・二のポーズを撮したものが第5図に示してある。

第5図 ハードリング
暗カメラ—キヤノン IV Sb 絞り 3.5 シャツ
ター—B FD 122 現像

第5図に示されている像は被写体の周囲を光吸収量の多い黒系統のものにした場合であるが殆んど夜間或は暗室に於て頻発閃光電球を使用した動態の重層撮影の成績と大差ない。

斯る撮影実験から昼間に於ける重層撮影の基礎的条件といったものが暗示されている様に思われる。即ち先ず、動態の1場面を大体 1/1000 秒以下の短い露出時間で撮影する為に、被写体にあてる光源からの、光量が充分に多くなければフィルムに充分感光せしめ得ない。此の為にフィルムは高感度のものが使用されねばならないし、それ故に微粒子現象、例えば FD 122, DK 20 などが行われねばならない。而も現像時間は此の微粒子現象の約 2—4 割長く行う必要がある。第2図に見られる様に 500 ワット電球 2 個被写体から約 1.5m 位の近距離に於て照明しているにも拘らず此の成績の通り不十分で此の場合少くとも 4 KW 以上の光源を用意し光量を増す必

要が認められるのである。そこで光源としては太陽光線がよいという事になるのであるが、露出時間は必ずしも 1/1000 秒という時間を固執する必要がなく人間の身体活動に於ては 1/100—1/1000 秒で充分で、動態の移動速度が少い時は大体 1/100—1/200 秒を標準としてセクターの広さと回転速度を加減するとよい。けれども高度の技術を必要としない様な動態に対しては寧ろ夜間に於ける閃光電球使用による撮影がよい。

考 察

マレーリによつて始められた重層撮影はそのモチーフが秀れていたに拘らず一般的に使用される迄には到らなかつた。之は色々理由のある所であろうが、当時は高感度のフィルムがなく、受像が鮮明でないという欠点によるものと考えられる。マレーに次で試みられた重層撮影方法は幾通りかあるが²⁾³⁾ 鮮明度の点で満足とされるものは見当らないし著者等の方法も此の点に就ては共通している様に思う。従来試みられた重層撮影方法に関しては小川・遊佐²⁾が綜括しているので省略することとして、鮮明度に就ては殆んど紫外線部分を取除いたクセノンガス球による頻発閃光法には及ばない。けれども此のクセノンガス球による撮影も発火時間が短かくて、又之が頻発発振を可能ならしめるという長所をなしているが、同時に光量が少いので未だ理想的とは言えない状態である。人工光線では被写体に達する光量を L 、被写体までの距離を S で表わした場合に次式

$$L = \frac{K}{S^2} \quad (K \text{ は比例恒数})$$

が成立つ。而も動態は時空間の四次元性により被写体に到達する L が一定でなく夫が距離の自乗に逆比例する故にフィルム感光は不平等となり各ポーズの鮮明度は益々不利な条件を構成する。

夫にも拘らず重層撮影が重要な方法とさ

れる二三の根拠について列挙すると、(1) スナツプ撮影による分析は動態の場に相当長年月の経験を有する者でなければ理解できなく、其の経験的観察に於ても動態の解釈は区々であるが、重層撮影に於ては動態のシリーズが同一フィルムにある為スナツプが積分され具体的に把握され素人にも解る様になることである。即ち Marey の謂ふ Chronophotographie で、(2) 動態分析に現在最も多く使用されている映画による多数駒撮影法に対して同一画面で見られる為に多少の誤差はあるが、物理学で謂う所の原点の設定が比較的に容易なことである。(3) 原点の設定が容易であることとスナツプの一定時間に於ける移動によつて身体各部の速度が求められ、又不完全ではあるが Knoll の作図法によつて重心の軌跡を追求めることが出来る⁴⁾。之等の特色が身体力学や生理学や運動学に今の所最も適当な方法と考えられる所以である。頻発閃光電球を使用した動態撮影は以上の様な色々な特徴を有するが夜間とか薄暮時又は暗室に於て行わねばならない。之は高度の技術を要する運動に於て眼による判断を無視するものである故に不適當であり、傷害を起させることさえ考えられる。

之が技術的困難を多く予想されるにも拘らず昼間に於ける重層撮影の研究を必要とされる根拠である。実験装置は基礎的に小川等²⁾の試作品に略々同様であるから省略するが、ここでは私達の試作品について一般的な常識としての撮影条件と成績について考察を進めることとする。

乃ち第3図を観察すると背景が白色から灰色に到るまで黒色と比べて明るい所は動態に対する光量が一定であるに拘らず各像は逆比的に不鮮明となり白色の背景では終に消去せしめられている。又背景が黒色であつても光沢面である場合は被写体が比較的に不鮮明である所から光沢面による光線の乱反射がフイ

ルム面を感光せしめて像の硬さを比較的に減少せしめていることを想像せしめる。

此の想像が不当でないならば背景は被写体に対し明度対比が強く且つ光の吸収量が充分でなければならないことを示唆している。従つて被写体は明度の高い白色であることが望まれる訳である。

此の事実は同時に光源から被写体にあてられる光量を考慮せしめる。第2図に示めされている自然倒立の重層撮影に於て1.5mの距離から500ワットのスポット2個を被写体に投射した場合と第4図に見られる絞りによる光量を加減した一連の成績とを比較するに光量が少なすぎると像が全体的に分明でないから、光量は相当大きくあらねばならぬことを考えさせられる。即ち太陽光線でも光量を制限すると、絞りを開放にした場合(1,8)に比して像は鮮明でない。従つて第2図に見られる自然倒立の重層撮影では少なくとも1kWのスポット2個以上同一距離で照明する場合がよりよい成績を得たであろうと想像せしめる。そこで高度の技術を要する運動や自然倒立より行動範囲の広い動作で光源を3m以上離さねばならない様な場合は人工光線そのものが無理で直射日光が理想的な光源となる。

併しながら此の光量と背景の呈する条件は動態のスナツプ撮影に於ける最も決定的条件である露出時間から考按されねば無意味である。動態のスナツプは大体1/200秒以下の露出であることを必要とする。1/120・1/360・1/1080秒と比較した成績では露出時間の短い1/1080秒の場合が被写体と背景との分離をよくしている。私達の実験装置では露出時間Tはセクターの回転回数C/secとセクターの広さAに対して函数関係がなり立つ。従つて
$$T = \frac{A}{360 \times C}$$
より回転数を任意に決めセクターの広さを決定すれば露出時間が算出されて撮影条件が決まるのである。此の撮影条件を適当に考慮して撮影されたのが前掲のdata

で一応夜間に於て行われた頻発閃光電球を使用した動態と略々同様な良結果を得た様と思う。此の事は小川等と共に昼間に於ける動作の重層撮影を兎に角可能としたことであり有意義な方法と考えて差支えないだろう。

昼間に於ける重層撮影が可能であることは夜間や暗室に於ける頻発閃光電球による重層撮影と対比して高度の技術を要求される体操の踏切りや走巾跳の踏切りに於ける初速の測定、棒高跳や走高跳に於ける姿勢変化の追求その他についての重層撮影に依る研究の分野を開拓することを意味する。又高度の技術を行う身体活動は眼による判断が最も重要な役割を演ずるが夜間に於ては極く短い時間の頻発閃光に基く不可能な明順応と暗順応との強制的な交代により実施者は全く盲目の状態で行動せしめられる為に事故を起すことが多い、此の点をも昼間に於ける重層撮影は解決しているのである。併しながら像の不鮮明性は前述の如く未だ解決されていないので今後の研究に俟つことが多い。

結 語

以上の実験成績は次の如く要約される。

1. 私達は昼間に於ける動態の重層撮影をセクター式の撮影方法により試み、此の為の器具を試作した。
2. 之の基礎的条件としては(1)露出時間をT、セクターの毎秒回転数をC、其の広さをAとする時、 $T = \frac{A}{360 \times C}$ が成立つから之に基いて撮影条件がまづ決められねばならない。(2)此の露出時間は1/200秒以下でなければならないので被写体を照明する光量が充分に大きく、且つ背景は光吸収量の大きい黒色を用い又被写体は明度の高い白色が用いられべきである。
3. 以上の如き条件を充足する時は昼間に於ける動態の重層撮影は充分に可能であり、之に拠つて高度の技術を要する身体活動が正常

時の鑑分析することが出来る分野が開かれたと考えられる。

終にのぞめ御懇篤な指導をして載いた竹中教授・並に Marey の文献を貸与して下さい、且つ適切な校閲をして下さった東大福田教授に厚く御礼申上げる次第である。

引用文献

- 1) 猪飼道夫 (1953): 体育に必要な運動の生理 P. 83. 杏林書院.
- 2) 小川義雄・游佐清有 (1955): 体育運動の分析 体育の科学 5, 7, 276
- 3) 久内武 外三名 (1954): 短距離疾走に於けるスタートの力学的考察.
日本体育学会第5回大会抄録 P. 32.
- 4) 菅沼昇・萩原仁・島田三千男 (1955): 頻発閃電球を使用した動態撮影による短距離走の分析 体育の科学, vol. 5 No. 2-3
- 5) 菅沼昇・萩原仁・島田三千男 (1954): 同上
日本体育学会第5回大会抄録 P. 5
- 6) 菅沼昇・萩原仁・島田三千男 (1954): 走運動に於ける二・三の実測.
日本体育学会第5回大会抄録 P. 5
- 7) 畑岡正夫・萩原仁・島田三千男 (1954): 跳箱の踏切りに就て
日本体育学会第5回大会抄録 P. 8
- 8) 猪飼道夫 (1951): 体育生理学 73-74 第一出版社.
- 9) Marey, E. (1894): Le Mouvement P. 54-56, Paris.