

2方向からみた cinematographic 法による速度 および加速度の誤差について

—force platform の速度および加速度を基準として—

丸山敦夫・藤島仁兵・川崎広時*・末吉靖宏**

(1983年10月15日 受理)

Study on the Error of Velocity and Acceleration in the Cinematographic technique of the Two-Directions.

—On the Basis of Velocity and Acceleration in the Force Platform—

Atsuo MARUYAMA, Jinpei FUJISHIMA, HirotoKI KAWASAKI*
and Yasuhiro SUEYOSHI**

I. はじめに

種々な身体運動の複雑な技術 (Skill) は, biomechanics (運動生体力学) の分野の発達とともに, より正確により客観的に, 分析されるようになり, その分析値は, 技術向上や技術獲得に大いに役立っている。特に, 画像解析は近年のエレクトロニクスの発展, すなわち, コンピューターの発展・普及とともに進歩してきている。この画像の情報から変位, 速度, 加速度, そして関節角度などを測定することができ, また, 身体の部位から重心を導くことによって運動エネルギーや位置エネルギーを算出することができる。

しかしながら, この画像解析は, まだ多くの問題⁴⁾を残している。たとえば, 16mm 撮影機のレンズ周差, 高速撮影時のモーター振動による画像のずれ, コンピューターのフィルム読取器 (X-Ytable) への人の読み取り誤差⁴⁾, 画像データに含まれるノイズ処理のためのフィルターリングの精度⁵⁾, その中でも, 変位の平滑化のフィルターや, 変位を時間微分するフィルターの選択などを挙げることができる。この問題点を解決することは, 信頼性が高いが, 測定の簡易さに欠ける force platform を使用しなくてもよく, 撮影機の使用範囲が広がり, 画像からの情報の精度を高くすることになる。我々は, 本運動学研究室で工夫した画像解析処理システムを用いて, これらの問題点をできるだけ取り除き, さらにこの画像をより実践的に活用するために, つぎの観点に注目した。すなわち, 主たる運動の進行方向の軌跡と撮影面に関して, 側面像の撮影では, 重心を導く身体各部位20点のいくつかの点が重なり合い隠れてしまい, 打点に対して不正確であるという点である。

そこで, 本研究は, 垂直とびを行わせて, 身体部位 (重心を得るための部位) の一部が隠れてしまう側面像および身体部位の全部を見ることのできる前後像から身体重心の速度・加速度に, ど

*鹿児島大学理学部大学院 **筑波大学大学院

のような誤差を持つかについて、重心の加速度を直接測定できる force platform を較正值として比較検討するものである。

II. 実験方法

1) 測定条件

図1に示されたように、force platform 上に被験者を立たせ、その正面と左側面に2台の16mm

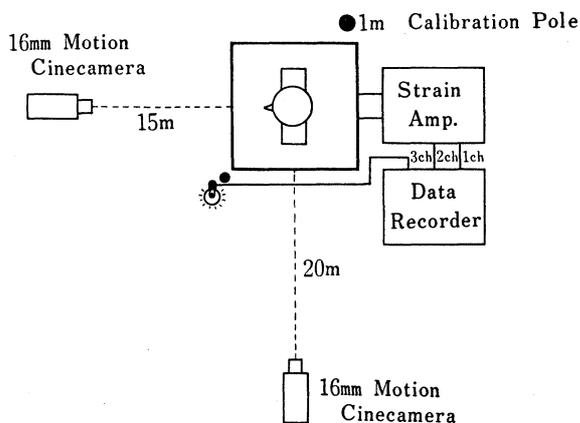


図1 実験方法の模式図

撮影機 (ともに Bolex 社製) を設定した。そして 1Mの較正柱を force platform (100 Hz cut off) の対角線上に2本置いた。撮影機の手速度は、2台とも 50 frames/sec とし、パルスジェネレータで較正した (較正後、0.021 sec/frame)。フィルムと force platform の時間を同期させるため、フィルムに光源のシグナルを入れ、force platform の力曲線と光源のシグナルを同時に data recorder (sony社製) に入力した。被験者 (170 cm, 66.3 kg, 22才) 1名に何回かの垂直とびを行わせた。

2) 画像解析処理システム

2方向から撮影したフィルムを、図2に示した模式図のように 16 mm projector (Nac 社製)

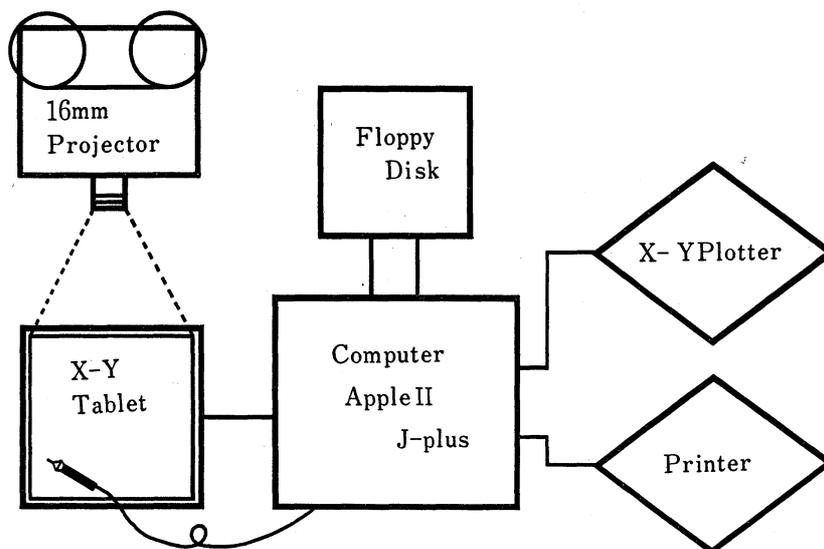


図2 画像解析処理システム

に設置し、X-Y tablet に投影した。そして、1回に 55 frames 単位の入力容量である Personal Computer (Apple II J-plus) に 0.021 sec/frame の interval time の条件を設定した。tablet への打点は、グラフペンにより、画像 1 frame 当たり 1 M の較正点、画像内の基準点および 19 点の身体各部位の座標点とし、その座標点を floppy disk に記憶させた。19 点の身体各部位の座標から、身体の重心を得るために、三浦らの合成重心⁷⁾を用いた。

画像から精度の高い変位、速度および加速度を求めるために、生データを処理した。まず、画像にあるノイズを除くため、重心の変位をつぎのような条件および式で平滑化した。すなわち、6 Hz cut off⁹⁾ で 47.6 Hz の sampling interval をもつ 7 点の非巡回型フィルター

$$y = 0.07066x_{n-3} + 0.13729x_{n-2} + 0.18833x_{n-1} + 0.20743x_n \\ + 0.18833x_{n+1} + 0.13729x_{n+2} + 0.07066x_{n+3} \quad (1)$$

である。次に、(1) 式より平滑化された変位から、速度 (X') および加速度 (X'') を求めるために、3 次スプライン微分補間法を用いた。すなわち、4 点 (t_1, x_1), (t_2, x_2), (t_3, x_3), (t_4, x_4) の $t_2 \leq T < t_3$ の条件にある任意 T (時間) に対する時間 1 次微分 (速度) X' の推定式は次式のようなになる。

$$X' = b + 2cT + 3dT^2 \quad (2)$$

$$\text{ただし} \quad \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 \\ 1 & t_2 & t_2^2 & t_2^3 \\ 1 & t_3 & t_3^2 & t_3^3 \\ 1 & t_4 & t_4^2 & t_4^3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

の式から求まる。 b, c, d 値を (2) 式に当てはめる。

さらに、 T における時間 2 次微分 (加速度) X'' の推定式は次のようになる。

$$X'' = 2c + 6dT \quad (4)$$

ただし、 c, d 値は (3) 式から求める。このように、(2) (3) (4) 式より、速度および加速度を算出する。

以上の方法で、画像からの解析処理を行った。

3) force platform の力曲線の A/D Converter システム

垂直とびを行った結果、得られた力曲線は、 $F=ma$ (F =力, m =質量, a =加速度) の式から、加速度を容易に計算することができる。図 3 で示された模式図のように、force platform の 1 ch は垂直方向 (vertical component) の力、2 ch は水平方向 (horizontal component) の力を出した。この、force platform の出力を strain amp を経て、光源シグナルパルス (3 ch) とともに data recorder に入力した。recorder の 1 ch および 3 ch の出力は DC amp で、A/D converter の入力水準に調整され、そして、その analog を 0.012 sec の sampling time で

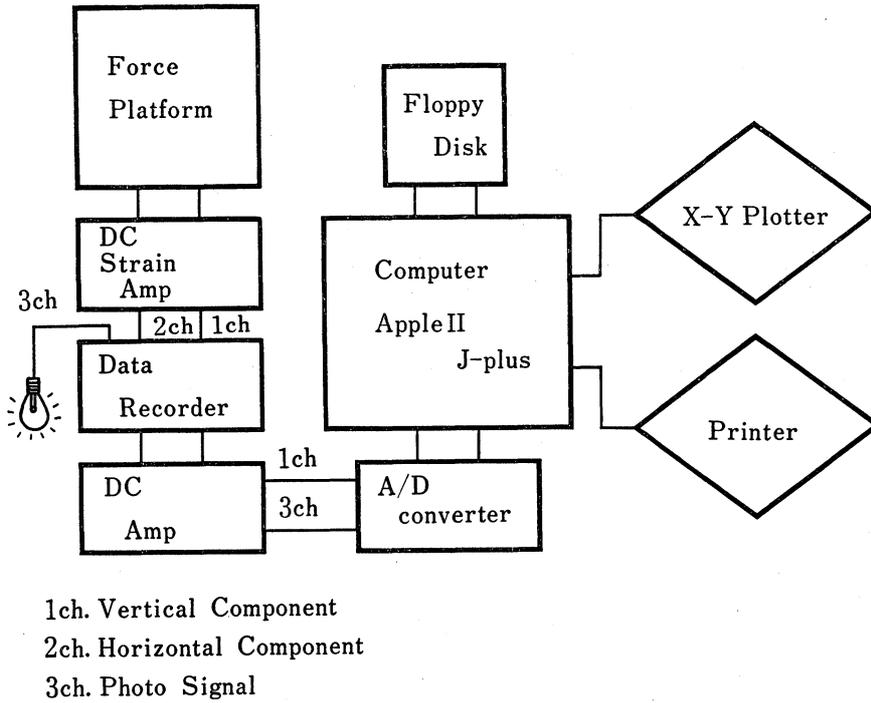


図 3 force platform の力曲線解析システム

desital 化した。この力曲線から Computer (Apple II J-plus) によって、加速度、速度、変位、力および力積を計算し、floppy disk に記憶させた。

4) 画像からの加速度と force platform の加速度の同期

図4は、画像と force platform からの情報を同期させた模式図である。画像の No. 1~125 frames の変位を継ぎ、その変位に 6 Hz cut off の非巡回型フィルターをかけて平滑化した。そして変位の interval time (0.021 sec) を force platform の sampling time (0.012 sec) に一致させるため、画像と force platform の時間を同期させるために、3次スプライン微分補間が用いられた。さらに、この微分補間から速度および加速度が求められた。

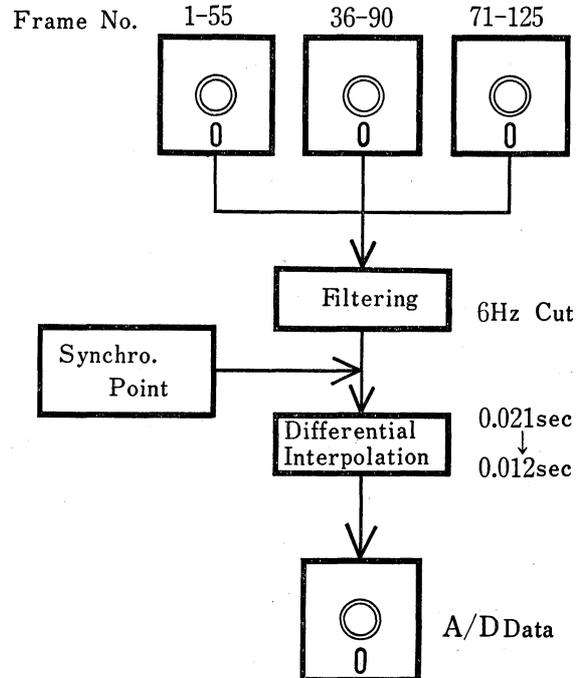


図 4 画像と force platform からの情報の同期について

III. 結果および考察

前後像および左側面像の cinematographic 法によって求めた動作開始から離陸 (take off) までの垂直およびの垂直方向の速度 (velocity) および加速度 (acceleration) は, force platform の力曲線から得た垂直方向の速度および加速度を基準値として比較してみると, 図5および図6のようになった。速度は, 前後像および左側面像でほとんど同じパターンであるが, 左側面像の値がやや大きかった。しかし, 加速度は, 前後像および左側面像ともに, 加速度の形が最大になる2相の山でやや異なる傾向をみせた。これを数値でみると, force platform の速度は, 最大値 (take off 時) および最小値でそれぞれ 2.88 m/sec および -1.33 m/sec となった。これに対し, 前後像および左側面像の cinematographic 法からの速度は, 最大値および最小値で, それぞれ 2.82 m/sec および -1.30 m/sec , 2.97 m/sec および -1.33 m/sec となった。この最大値および最小値の出現時間は, force platform と2方向の cinematographic 法とともに, 0.196 sec および 0.336 sec で同時であった。Lamb および Storthart⁶⁾ は, 本実験と同様の方法で, 垂直およびの take off 時の速度を測定したが, force platform で平均 $2.940 \pm 0.206 \text{ m/sec}$ であり, cinematographic 法で平均 $2.998 \pm 0.234 \text{ cm/sec}$ であることを報告している。この値は, 本実験で得たものとほぼ等

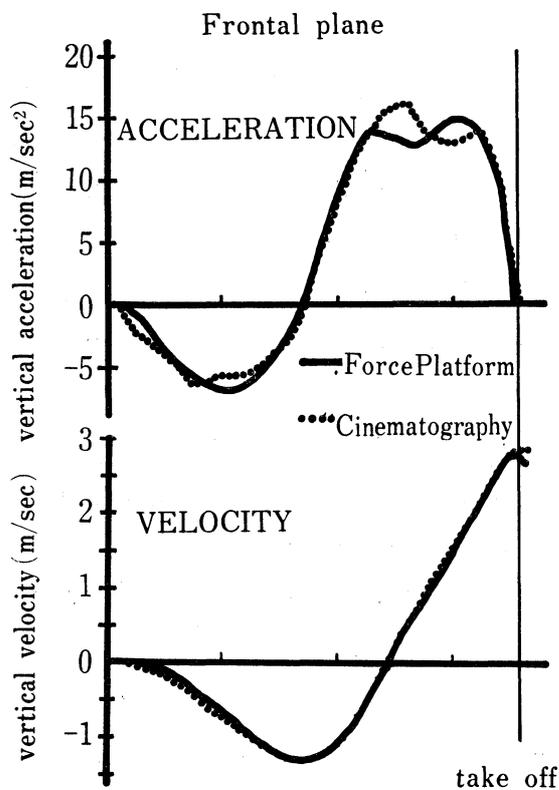


図5 前後像の cinematography および force platform の垂直方向の速度および加速度について

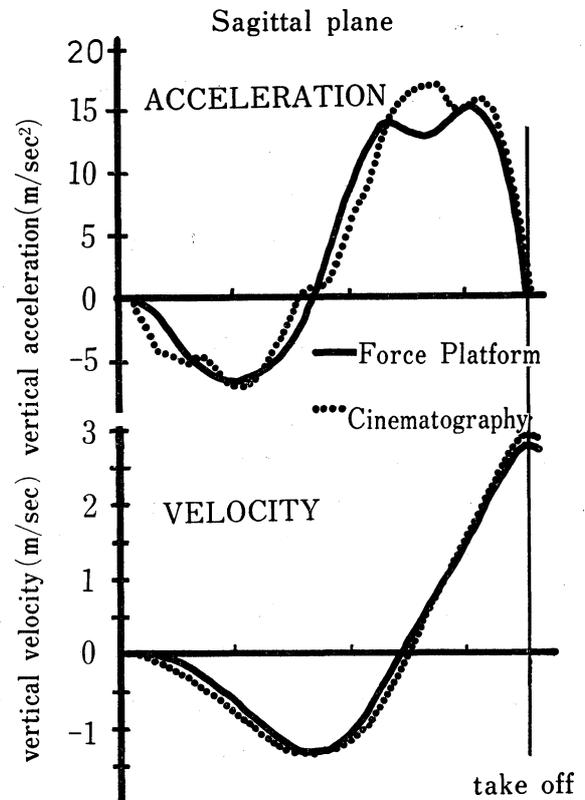


図6 左側面像の cinematography および force platform 垂直方向の速度および加速度について

しく、cinematographic 法で求めた2方向の値としてほぼ妥当であると考えられる。

しかし、加速度は最大値および最小値をみると、force platform で 15.36 m/sec^2 および -6.80 m/sec^2 であるのに対し、前後像の cinematographic 法で 16.54 m/sec^2 および -6.32 m/sec^2 となり、やや高い値を示し、左側面像の cinematographic 法では 17.24 m/sec^2 および -7.13 m/sec^2 と前後像の加速度よりさらに高い値となった。また、cinematographic 法の2方向の加速度でみられる最大値および最小値の出現時間は、force platform のそれらの出現時間と異なっていた。

force platform を基準値とした cinematographic 法の速度の誤差は、動作開始から離陸までの時間 (0.696 sec) の積分値でみると、前後像で 5.71% および左側面像で 12.68% という値を得た。左側面像から

得た速度の誤差がやや大きいですが、この速度の誤差としては非常に精度の高いものであると考えられる。しかしながら、加速度の積分値から求めた誤差は前後像で 15.56% 、左側面像で 20.74% という値となった。Pezzack ら⁷⁾は、身体部位の関節角度の速度・加速度について、絶対値加速度と cinematographic 法の加速度を比較して、たいへん精度のよい値を報告しているが、身体の各部位からの合成重心を求める加速度はその誤差も大きいようだ。このように、従来 cinematographic 法で加速度を求めることは force platform からの絶対値と比較し、非常に大きな誤差となり、その値に対する評価は困難である¹⁾と言われる。しかし、本実験の画像処理のシステムによる誤差をみると、cinematographic 法からの重心の加速度算出にも明るい見通しがついたと考えられる。この誤差の割合をさらに縮めるには、X-Ytablet へのグラフペン打ち込みの熟練度や重心等の変位に対する平滑化フィルターの妥当性の研究が重要になってくると考えられる。

前後像および左側面像の cinematographic 法の誤差は、図7でみられるように、ほぼ同じパターンを示した。その誤差の割合は、速度で 6.97% 、加速度で 5.18% となっている。この誤差は、いわゆる左側面像で、画像に写らない点を予測することによって生じるものである。側面像と前後像の誤差が $5\sim 6\%$ 程度であることは、見えない部位をもつ側面像でも十分に前後像の速度・加速度への代わりをすることが可能であると考えられるが、force platform からの絶対値と比較すると、

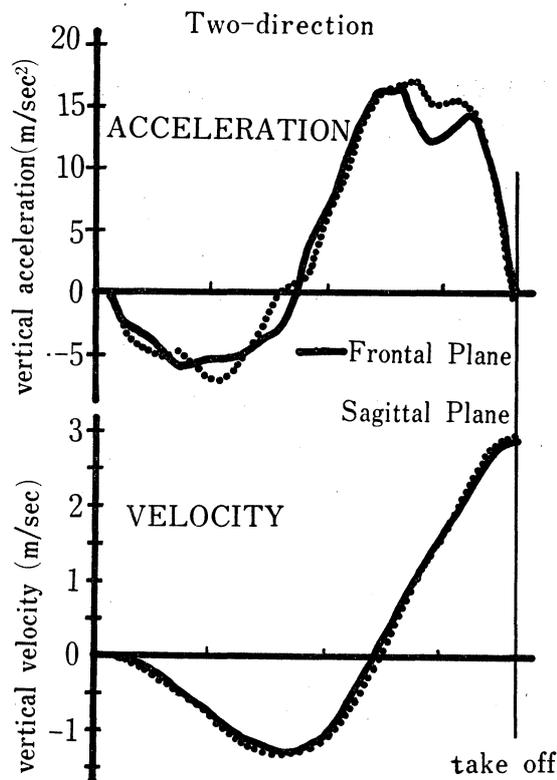


図7 前後像および左側面像の cinematography から求めた垂直方向の速度および加速度について

側面像の誤差は大きいように思われる。今後、さらに見えない部位に対する打点予測の熟練度が必要であり、また撮影上の工夫も大切であると考えられる。

IV. 結 論

本研究は、force platform からの速度および加速度を基準とした場合の前後像および左側面像の cinematographic 法から求めた速度および加速度の誤差、さらに、前後像および左側面像からの cinematographic 法の速度および加速度の誤差について検討した。その結果、前後像の速度および加速度は、それぞれ5.71%および15.56%の誤差で、左側面像から求めた速度および加速度は、それぞれ12.68%および20.74%の誤差となった。前後像と左側面像からみた速度と加速度の誤差は、それぞれ6.97%および5.18%となった。

終稿にあたり、本実験に協力してくれた熊本靖君並びに被験者に対して、心から感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) アレキサンダー R. M.: バイオメカニクス: 平本幸男訳 講談社サイエンティフィック (1976)
- 2) Hamming, R. W.: Digital Filter Englewood Cliffs, N. J. Prentice-Hall, 1971, 宮川 洋, 今井秀樹訳 デジタル・フィルタ: 科学技術出版社 (1980)
- 3) 日野幹雄: スペクトル解析: 朝倉書店 (1983)
- 4) 小林一敏: 画像解析の諸問題: Japanese J. Sports Sci. 3: 160-162 (1983)
- 5) 小林一敏, 大島義晴: 映像解析におけるフィルタリング: Japanese J. Sports Sci. 3: 172-181 (1983)
- 6) Lamb, H. F. and P. Stothart, A comparison of cinematographic and force platform techniques: Biomechanics IV-A 387-391 (1978)
- 7) 三浦望慶, 池上康雄, 松井秀治: 部分及び合成重心係数を用いての座標測定方法による合成重心の算出: 体育の科学 24(8): 517-522 (1974)
- 8) Pezzack, J. C., Norman, R. W. and Winter, D. A.: An assessment of derivative determining techniques used for motion analysis: J. Biomech. 10: 377-382 (1977)
- 9) Winter, D. A., Sidwall, H. G. and Hobson, D. H.: Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion: J. Biomech. 7: 157-159 (1974)