

玉切作業に於ける曲柄鋸の運動状態の解析 (第1報)

今野 国太郎・末 勝海

(山形大学農学部森林利用学研究室・森林工学研究室)

Kunitaro KONNO & Katsumi SUE : Analysis on the movement of the hand saw
with a bending handle in the amputating work (1st Report)

(1) 緒 言

筆者等はさきに、手挽曲柄鋸のコミ角の最適値を求めるために、作業手に挽かせて比較実験を行ったのであるが、(日本林学会東北支部会誌第2巻2号発表) 同一条件下で実験を繰返した場合でも得られた値の偏差が大に過ぎて比較に困難を來した。我々はコミ角のみならず手挽鋸のあらゆる点についての改良を考えているので、こゝに試験機による実験を計画したのであるが、現在迄にこの種の実験に用いられたものとしては、石田氏の例があるが、しかも此の機械は既製の往復動機械鋸を若干改良した程度のもので、同氏もこれによる実験結果が、實際手で挽く場合に当嵌るとは断言していない。

此の問題を解決するためには、作業手が挽くのと全く同様に動作する試験機を作るか、兩者の關係を明かにするかなければならないが、それには手挽鋸が伐木や造材にあつてどのように運動しているかを、知らなければならぬ。即ち鋸の軌跡、挽速度、力の加わり方などが、どうなつてゐるかを研究する必要がある。

このような必要のために、我々は現地並に室内実験で曲柄鋸について、16mm 映画に撮影することによつて、その運動状態の一部を解析しようとした。

曲柄鋸が特にその眞價を發揮するのは伐木の場合なので、その場合についても撮影はしておいたが、実験計画の不備のために、印画は利用することが出来なかつたので、こゝには玉切の場合の数例のみについて取纏めてみた。

此の結果は尙普遍性に乏しいと思われるし、準備を完全にすればもつと廣範圍な問題をより精密に究明出来ると思われるので、引き続き実験を行い、詳細な解析は其の後に行う考えであるが、これ迄の結果にも定性的には面白い点も認められたので、第1報として発表することにした。

此の実験を現地で行うにあつては、秋田管林局眞室川管林署孕石署長始め署員各位の御援助を賜り、撮影機の借用並に実験結果取纏めに当つては、九州大学農学部熊谷才藏教授、重松、大神、両教官の御指導御協力を戴いたことを此処に深く謝意を表す。猶本要旨は昭和27年春季日本林学会大会に於て報告した。

(2) 実 験 の 方 法

各種の物体の運動状態を観測する方法は殆んど無数に考えられるが、運動体に何等の力学的な影

響を与えないためには写真を利用する方法が適している。これにも綱島氏が斧について撮られたように、長時間の露出をかけて画面上のズレとして軌跡を見る方法や、平山氏が造林鎌について行ったように、目的とする点に豆電球をつけて暗闇の中で運動させ、長い露出によつてその行程を記録する方法は、軌跡が直接得られる長所はあるが、速度を求めることは難しい。これに対し西田氏が紹介している光源を一定時間毎に明滅させたり、ストロボ類似の装置によつて一定時間毎に瞬間的な照明を繰返す方法は、速度も容易に計測出来るが、現地実験には都合が悪い。

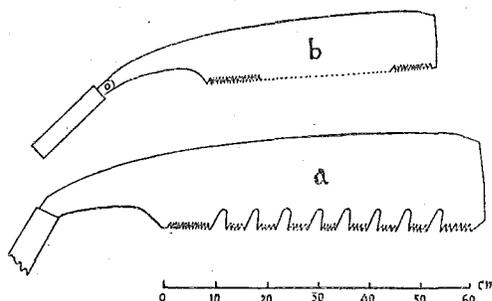
之に比べて映画にするのは、軌跡や速度を直接得ることにはならないが、或る任意の点の各画面上の位置を順次に1枚の画面に投影して行けば、或る程度の軌跡の追跡は出来るし、各画面間のズレから速度の計算も出来る。殊に装置が簡単で現地実験には都合がよいと考えたので16mm コダックスペシャル撮影機を借用して実験を試みた。

現地実験は秋田管林局眞室川管林署の上小俣事業所附近の廣葉樹林で、之と比較対照のため無経験者による作業は、山形大学農学部森林利用学研究室で夫々実施した。其の際使用の鋸は第1図、実験条件は第1表の如くである。

作業手Cの用いた鋸や、材種等はA, B, の場合と著しく異つてゐるが、これは当人の体力並に現地出張等の関係から止むなく行われたもので、参考程度の比較には供し得ると思う。

実験にはまず横たわつてゐる丸太材に跨るように撮影機の三脚を供えつて、玉切作業を鋸身の側方略々直角な4~5mの距離から若干俯視気味で撮つた。撮影条件は、毎秒32駒及び16駒、露出は約1/130sec., 絞りは

第1図 鋸



第1表 実験条件

作 業 手				供 試 材			
記号	年令	経験年数	挽姿勢	鋸記号	材種	樹令	切断部平均直径
A	50	30	やや前かがみ	a	ブナ	110	57.0
B	26	3	及び腰足を投げ出し坐る	b	ブナ	110	47.5
C	21	0		c	スギ	37	22.5

は光度に応じて適宜に加減した。即ち鋸断開始と共に、鋸の軌跡及び挽速度を知る目的で毎秒32駒にて数衝程を撮り、次に衝程の偏差並に切込速さを知るために毎秒16駒に切りかえ、40衝程にて一旦撮影を停止、此の間夫々の時間をストップウォッチで読んで毎秒駒数の検定用とする。それから比較的長時間に亙る切込速さを知るために5衝程毎に1駒撮り、此の間もずつと時間を記録して長期に亙る平均週期、衝程を知るために供した。鋸断が相当進行して、材の中央附近に及んだ時、再び毎秒32駒に切り変えて始めから同じ操作を繰返し、殆んど切断も終る頃にも同様のことを繰返した。尤も是等の操作は標準的なものであつて、フィルムが不足のために一部を省略したものもある。又上述のような意図のもとに実験したが、撮影条件が悪かつた爲に辛じて撮れてはいても、計測に耐えないものも相当多かつた。殊に準備が完全でなかつた爲に、鋸断終了近くのデータは全

然取れず、切込速さも同様の憂目に遇つた。鋸断完了と共に全衝程数と所要全時間が記録され、断面の直径は互に直角な長短2カ所で輪尺によつてcm単位迄測定した。

撮影されたフィルムは製造元に送つて現像し、之によつてカセットメーターで必要諸量を計測しようとしたが、非常に時間を要して膨大な資料の整理に適しないので、その十字線の代りに接眼マイクロメーターを挿入して、出来るだけ之によつて読みとるようにした。通常の顕微鏡は高倍率に過ぎ、載物台が小さく1駒毎に辛うじて観測し將る程度であるが、フィルムを一定位置に固定して置けば、カセットメーターでは数十駒を連続的に計測することが出来た。これらの読値は一々実寸に改算する煩を避けるためにそのままグラフにとり、鋸の双渡りを基準にして求めた実寸の単位を後から挿入した。従つて位置や速度の単位目盛りが不揃いになつたが、処理の手数は著しく省くことが出来た。

鋸の軌跡を求めるには、画面中で終始移動することのない明瞭に見える一点を基準として、フィルムの長さの方向及び之と直角な方向の座標をとり、鋸の先端の双先及び根本の双先の位置を計測し、これをグラフに順次投撮し連結した。此の際一部が材中に隠れる場合もあるので、完全に連続した曲線を得ることは出来なかつたのであるが、これには他の補助点、例えば鋸の背の先端や握り柄の上端などについて計測して置き、推算する方法を採用した。尙特に問題になつたのは、運動につれて鋸の全長に変化を生ずること、これは撮影機レンズの諸収差、カメラアングルの如何などにも依るのであろうが、主として鋸が高速度に動くためにシャッターが開いている僅かの時間にも画面にズレが入り、そのズレの一部が感光していないために生ずる現象のように思われる。是等による伸縮の様相を明かにするために、更に精密な観測を試みたのであるが、フィルム膜面の粒子荒れのために阻まれ、作業手Aによる実験の場合、伸縮量の最大値は双渡りについて平均2.6cmに及んでいるとしか求められなかつた。これによる誤差が鋸の先端と根本に平等に分布されると仮定しても、約1.5cmの位置誤差を含む場合があることになり、しかもその除去は事後には如何ともなし難いので、此処には修正されてない値が其の儘出ている。

かくして画かれた挽材運動曲線は、容易に豫想された如く直線ではないので(第2図参照)挽速度を如何に定義するかの問題が生じて来る。是には色々論議もあるであろうが、筆者等は便宜上、鋸を手前に引き寄せる場合の先端並に根本の運動曲線が、略々一直線上にあるのを利用して、此の直線上に直接投撮した各点の位置から、直線運動として計算した。諸収差並にカメラアングルによる誤差を事前に測定して置き、シャッターを高速に切れば、より精密な位置観測が可能となり、運動曲線に沿うての速度計算も出来ると思われるが、鋸断に直接関係の深いのは双線方向の分速度であろうから、此の方法にも相当の意義があるであろう。

衝程は此の直線上の最も外側にある2点間の距離として求められる。其の偏差は、手前に引き切つた時の位置と、向うに押し切つた時の位置の変動とに原因するものと、分解して考えることが出来るので、夫々の平均値を求めて、是等についても偏差を求めてみた。

毎衝程の週期を求めるには、毎秒32駒程度でも 0.03sec. 単位くらいしか読めない理由で、夫れ以上に或る程度は補間法によつて求め得るであろうが、毎秒16駒ともなれば精密な週期を求めるには適しないと考えられる。しかも此の実験の大部分は毎秒16駒で撮影されているので、此処には各衝程の週期をフィルム上から求めず、5衝程毎のストップウオッチの読値から求めた平均値のみを計算することにした。

(3) 実験結果及び論議

実験結果は、作業手Aによる鋸aを使つての鋸断開始時のものを(Aa始)、中央附近を鋸断中のものを(Aa中)というような記号

第2表 全般的実験結果

で示す。

実験条件	鋸断所要時間 t	鋸断所要衝程回数 n	断面積 A	t/n	t/A	n/A
	Sec	回	cm ²	sec/回	sec/cm ²	回/cm ²
Aa	468	340	2551	1.38	0.183	0.134
Ba	593	341	1771	1.74	0.385	0.192
Cb	356	222	397	1.61	0.896	0.560

断面積は鋸断部均直径より円面積として算出した

1) 全般的実験結果

此の実験の際に記録された全所要時間、衝程回数によるものを便宜上こう呼ぶ。第2表が其

の一覧表である。相互比較のために平均週期 t/n, 単位面積鋸断に要する時間 t/A, 同回数 n/A も計算記入した。

若し毎回の切削量が常に一定であるとすれば、週期は短かい程能率は上ると一応考えられるが、週期の短かい時には余力を入れずに軽く挽くのか、反つて逆の傾向を示す場合さえある。此の問題を解決しようとして、或る人について週期を色々に変えて実験しようとしたが、各人には体質如何による最適のペースがどんな素人にでもあつて、多少の変動はあるがそれ以外の週期では永續きしないようである。長期間の鍛錬によつて漸次上達し、週期も変化してゆくこともあるかも知れないし、又其の時のコンディションにも多少左右されるようであるが、各人は大体常に殆んど一定した週期を持つていると思われる。然し乍らこれを究明することは、我々の目的外なので此処には此の程度に止めて置く。

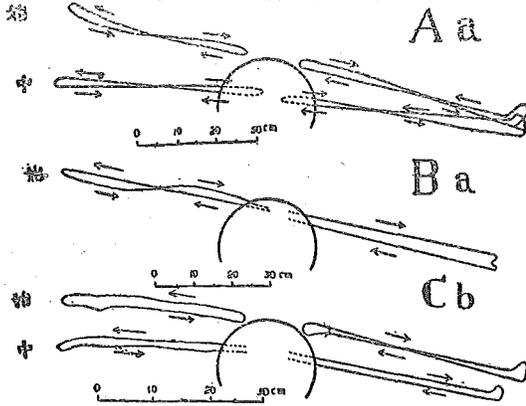
単位面積鋸断に要する時間はAが圧倒的に少なく、BはAの倍以上もかゝり、CはA Bが挽いたブナよりは鋸断容易とされているスギを扱つたにも拘らず、更にBの2倍以上を要し、Aに対しては実に5倍以上の時間を要している。

単位面積を鋸断するに要する回数は時間程の差違はないが、BはAより5割も多くCはBの殆んど2倍半を要している。

2) 鋸の軌跡

鋸先端及び根本の刃先の位置を投影して得た軌跡が第2図である。Aについて云えば、手許に引寄せられる場合には、先端根本共に殆んど一直線に動き、引終つた所で根本は一吋上方に引上げられてから押下げられ、先の直線と長S字状の曲線をなして交り、元の位置に戻る。是に対し先端は矢張り長S字状をなして元に戻るが、直線とは上から下に根本の場合とは逆の方向から交る。是がBの

第2図 挽材運動曲線



これは今後の研究に俟たねばならない。或は他の条件、例えば双型や挽姿勢等に左右されているかも知れない。

3) 挽速度

前述の如く鋸は複雑な軌跡を持つているので、厳密には各部分によつて速度差があると考えられるが、一直線上に投影した場合には、其の差は少なくなるので、代表的に最も計測し易かつた鋸の先端双先について計算してみた。まず時間を横軸に、鋸先端の双先を投影した直線を縦軸にとつてグラフを画けば、第3図の夫々の上段の曲線が得られる。是は衝程や週期の差、それに速度等を求めるのに役立つ。速度は此の曲線上の相隣れる2点間の縦軸に投影した開きを、其の時間々隔1/16 sec. 又は1/32sec. で除して求めた。第3図夫々の下段のものが、かくして得られた速度曲線である。

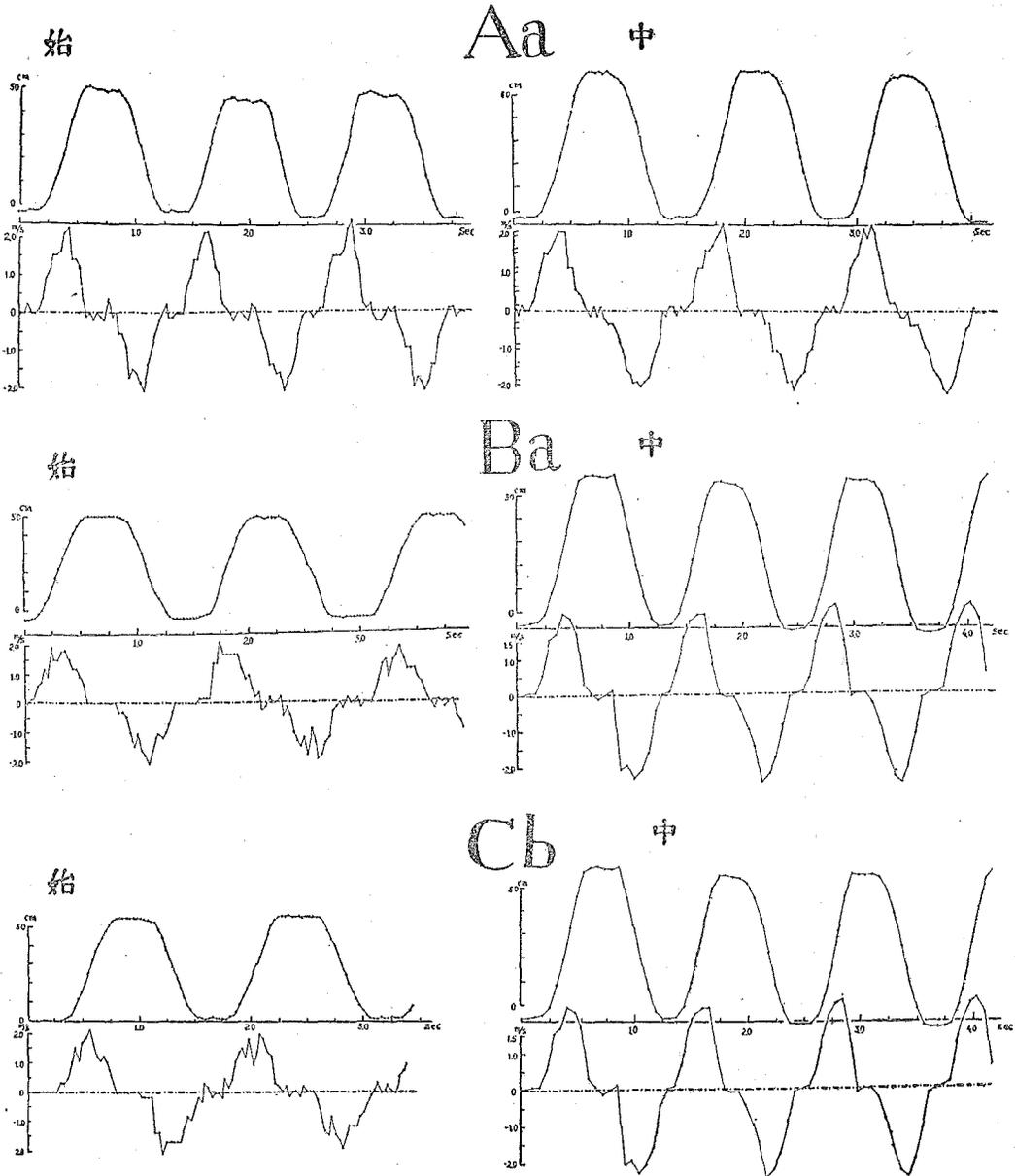
全般的に熟練者程規則正しい曲線を画いていると云えるようである。又挽き始めより断面の中央附近を挽いている時の方が衝程は大きくなつてゐる。是は前項の鋸の軌跡からもよく判る。所が週期には大差はなく、僅かに後者が大きい傾向を持つてゐるように見える。

速度は手前に引く方向が正、向うに押すのが負となつて表わされているが、其の絶対値について見れば、どの場合も正負に大差はないものゝようである。一般に動き始めの速度の増大は、静止直前の減少に比して緩かであり、又必ず水平又は逆勾配、即ち等速或は一時減速する部分が途中に認められる。此の傾向は稀には速度の絶対値の減少する側にも認められるが、毎秒16駒で撮影した場合には殆んどそれは判らない。是は前節で述べたように、鋸が伸縮して写ることに依るのではないかと当初考えられたが、鋸の伸縮が此の部分に於てのみ生ずる現象であると見做し、夫による全誤差量を是等を消す方向に修正するとしても、速度の絶対値が増加する傾向が、此の部分で中たるみになつてゐるということは打消されない。更に高速度な撮影によつて、究明されるであろうが、力が此の部分で一旦或る程度抜かれ、それから又加えられているものであることを示していると考えられる。A, Bの挽速度には大差なく、大体最大2.0m/s. 位であるが、Cは1.5m/s. にも及んでいない。次に殆んど運動が休止していると認められる時間が、全体に対して占める割合は、A, Cが約

場合になると、根本は長楕円形の循環をなし、先端だけがAと同様な曲線を画いている。CになるとBの場合とは逆に根本がAと同様、先端は循環曲線になつてゐる。然も全体が弓形に彎曲した特徴を持つてゐる。

是等の曲線の普遍性は、他の作業手によつて数多くの実験をして見なければ判らないが、3者に明瞭な相違の表われた事は興味深い。是等が個性的のものであるか、熟練の程度差に依るものであるか、問題であるが、そ

第3図 速度曲線

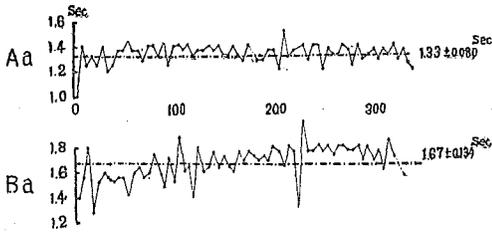


1/2であるのに、Bでは約2/3に及んでいる。共通して手前に引きつけた位置での休止が少々長く、Cでは特に向うに押切つた位置での休止が殆んどない程である。休止期間中の速度曲線は不規則であるが、是は休止といつても多少動いているのが、複雑な曲線運動であることを直線上に投影した爲であつて、此の部分では本来の速度の意味は殆んど失われていると考えられ、観測誤差を考慮に入れると精密な解釈をすることは危険であると思われる。

第3表 衝程関係

挽材手	鋸	計測回数	押し切った位置の誤差 cm	引き切った位置の誤差 cm	衝程誤差 mc
A	a	40	±0.77	±0.92	±1.48
B	a	12	±1.00	±1.44	±2.22
C	b	10	±0.71	±1.98	±2.34

第4図 週期曲線



休止をしたりした爲に、時間の計測が狂つたことを示している。

A, B 共に挽始めと挽終りは稍々週期が短くなつてゐる。偏差はやはりAに少なく、然も始めから終り迄殆んど一定であるが、Bは偏差が大きいばかりでなく、漸次平均週期が大きくなる傾向を示しているかのようである。

(4) 結 び

全体を通じて此の程度の実験でも容易に判断されるのは、熟練者の作業は凡ゆる意味での偏差が小さいらしいことで、是は常識的にも豫想されたことではあつたが、普遍性の問題は今後の究明に俟たねばならぬとしても、此の実験例に判然と数量的に夫が示されたのは、手挽鋸の試験を機械で行ふことの妥当性を表わしているとも考えられる。何となれば試験機によれば諸偏差は殆んど無くなつて了うが、夫は最も熟練した理想的な作業手に相当していることになる。若し偏差が誰にも大同小異のものであつて、熟練の程度と無関係なものとするならば、機械による試験は故意に人間と同様な偏差の入る機構を用いなければ、永久に人間に依る試験結果とは別なものをなしていることになるからである。

若し上の判断が正しいならば、多くの作業手の熟練の順位は、その作業上の各種の偏差の測定によつて決定出来ることになる。これは労働科学上既に明らかにされていることであると思われるが、今後の実験遂行にあつて被験者の能力判定に1つの手段を与える。

次に此の実験に対して、何故そうなるのかという理由や、此の実験結果を裏付する理論的なものが当然問題になると思われるが、是等は我々の目的とするところではなかつた。結局実験結果が其の儘結論的なものになつてゐる。然し乍ら夫等は余りにも精度が低く、然かも或る1例に過ぎないので、前述の如き漠然たる論議をするだけに止まらざるを得なかつた。是では題目に対して内容の伴わない怨みがあるが、引続きより精密な実験を廣範囲に実施すれば、各種の曲線の解析から実験式の算出も考えられ、従つて普遍性のある結論も得られるであろう。又今度の実験では求め得な

4) 衝程

第3図によつて熟練者程衝程に差の少ないことがうかゞわれるが、是を計算してみると第3表が得られる。一見して手前に引付けた時の偏差が、向うに押切つた時のものより常に大である。

5) 週期

挽き始からの衝程数を横軸に、5衝程毎の平均週期を縦軸にとれば、第4図が得られる。Cのものは途中の計測を誤つた恐れがあるので記入していない。点線の部分は楔を打つたり、小

つた切込の速さも計算出来ると思われる。

所が此の様に究明された鋸の運動を機械で行わせようとするならば、如何にしてそのような運動をするかという問題も考えねばならず、其の際最も手早な方法は一種の人造機械人間を作ることで、是には作業手其のものゝ運動も調べる必要性も生じてくる。即ち此の両者の関係が明かになつて、始めて鋸の運動は完全に解析されたことになるであらうし、挽材試験機も容易に完成出来るであらう。

かくの如く此の研究は、多分に豫備実験的なものとなつて、今後の実験上の指針を数多く与えた。但しより高精度の結果を得ることは出来ても、極く高精度にすることは映画による方法では、画面の重ね合わせの際に誤差の入る恐れが多分にあるので、最善の方法ではない。諸種の不便はあつても1枚の印画上に重ね合して写す方法が良いと考えられる。

作業手A, B, の実験条件が殆んど等しく、挽速度にも大差がないのに挽材能力に大差のあるのは、挽速度が挽材能力と関係の少ないことを意味しているのかも知れない。大差を生ずる原因は軌跡如何にもあるかも知れないが、1衝程毎に加えられる力の問題に密接な関係があると思われる。此の方面の研究が結局は凡ての鍵であらう。追々実施してゆく積りである。

参 考 文 献

- 1) 綱島政吉：林業試験場報告 第24号 (大 14)
- 2) 平山定克：九大演習林報告 第13号 (昭 18)
- 3) 西田正孝：科学写真便覧応用編 (昭 25)
- 4) Auerdach-Hort：Handbuch der physikalischen und Technischen Mechanik, Vol. 2. P. 387.
- 5) Harold Edgerton：Electronics Flash Seeing the Unseen by Ultra High Speed Photography (1939)
- 6) 石田多実三：富士産業研究報告 23~27 (昭 23)

Résumé

We tried to analyse the movement of hand saw with a bending handle in the amputating work by the 16 m.m kinetograph. These amputating works took held by three men. Two of them were loggers who used the same *Mado noko* and the other used ordinary saw. In this experiment, cutting times, number of strokes, cutting areas, locus and velocity of the saw, and mean period were measured in various ways.

The results of this research may be summarized as follows.

- 1) The amputating work by a skilled man have always small change in all condition, and so the order of a skilled man is thought to determine by change of measure which is large or small.
- 2) So, in the amputating work, adoption of the test machine is considered to be effective for this experiment.