

「歩行時の回避行動における  
特性に関する研究」

1 9 9 3 . 2 . 1 0

防災安全工学講座

辻本研究室

藤田 昌樹

# 目次

## 第 1 章 序

- 1-1 歩行動作の研究の背景
- 1-2 建築分野の歩行動作の研究
- 1-3 本研究の目的

## 第 2 章 研究手法

- 2-1 画像処理方法
- 2-2 撮影場所
- 2-3 歩き出す障害物

## 第 3 章 既往の歩行シミュレーションモデル

- 3-1 MODEL 1(磁気モデル)
- 3-2 MODEL 2(平井のモデル)
- 3-3 MODEL 3(ポテンシャルモデル)
- 3-4 モデルの総評

## 第 4 章 解析

- 4-1 自由歩行
- 4-2 回避後の回帰性
- 4-3 回避行動開始の判断

## 第 5 章 考察

## 第 6 章 終わりに

# 第 1 章 序

## 1-1 歩行動作の研究の背景

人間にとって、二足直立歩行はもはや切っても切り離せないものである。自分自身が両手両足を着床して行動する生活を想像すると、不便極まりないことが容易に理解できる。無論、それは現存する文明・文化を前提にした想像であり、より動物と似通った生活を営んでいたなら、その不便性など思いも寄らないだろう。逆に言えば、二足直立歩行という歩行スタイルを採ったことで、現在までの文明・文化の発展が成し遂げられたのである。実際には、他の動物達の多数が行う四肢で身体を支持する方法に較べ、この歩行スタイルはバランスを保つ為に余分なエネルギーを必要とし、不安定で無理のある型である。それにも拘らず人間がこの歩行スタイルを維持し続けてきたのは、その見返りに得られる両手の自由が人間の発達した脳の要求を満足する為に必要だったからである。歩行動作は、普段余り意識されないが、人間行動の基本とも言える動作なのである。

現代社会に於いては、モーターリゼーションが促進され、移動手段を自動車に頼る傾向がある。この他にも地下鉄・路線バスなどの公共交通機関が存在し、歩行のみで目的の場所へ移動するのは希で、近所の商店街や学校等の生活圏に限定される可能性が大きい。結果的に、以前は自動車に対して歩行者に払われる注意が希薄だった。こういった経緯から、現存の歩行者環境を危惧する向きが起こり、最近になりその改善を求める声が少なからず起きてきた。安全で外的因子による強制のない歩行を実現する為には、歩道の構造や街路樹の有無といった環境的側面からアプローチする方法と、歩行動作の分析により得られるデータから、歩行者にとって理想的な歩行環境を模索する方法とが考えられる。本研究では、後者の立場に基づいて歩行動作の分析を行う。

## 1-2 建築分野の歩行動作の研究

歩行動作の研究は、建築学、人間工学、交通工学、心理学などの幾多にわたる分野で行われてきた。その内容は様々であり、実際に成果として活用されているものもあれば、未だに発展を遂げていないものもある。建築の分野における歩行動作の研究は、その中でも後発であり、まだ成長段階にある。建築計画の視点から整理された歩行者の特性としては、下に列挙するものの存在が言われている。<sup>(1)</sup>

慣性行動	日頃の何気ない行動が、パターン化され潜在的に記憶されているもの。
逆戻り行動	危機に面したとき、もと来た道を引き返す。
先導効果	非常時に、自主性が失われ他人に追随しようとする。
左側通行	単位面積あたりの歩行者密度が約0.3人/m <sup>2</sup> 以上になったとき、自然発生する。

近道行動 意識的に、あるいは無意識にエネルギーや時間の消費を  
少なくしようとしている。

これまで行われてきた建築の分野に於ける歩行動作の研究は、群集歩行に関するものが多く、個々の歩行者に視点を置いたものは余り存在しなかった。施設や環境の充実を図る場合、それで十分に事足りたからである。しかし、よりきめ細やかな計画を実行する場合、群集歩行の研究だけでは物足りないことも確かである。

### 1-3 本研究の目的

前述したように、歩行動作は人間の行動の基本と考えられる。その機構に関する研究は一步先に進んでいて、単調な歩行動作ならばロボットとして具現化出来る。しかしながら、現実の歩行動作は歩行者の心理的影響を受けている為にかなり複雑で、機械的な動きで表現されるそれとは程遠いものである。平面上の歩行シミュレーションモデルにも同様のことが言える。心理的要素を考慮した上で、歩行シミュレーションモデルを構築するのが理想である。勿論、心理的要素をどの程度まで採り入れるかについては考慮する必要がある。何故なら複雑な計算や膨大な時間を必要とするようなシミュレーションモデルでは、本来持っているべき意味をなくしてしまうからである。歩行動作の観察・解析の蓄積により得られたデータからその特性を見極めることによって、歩行シミュレーションモデルに最低限必要な要素が見えてくる筈である。その蓄積を担う一部として、本研究で歩行時の特性を少しでも知ることが出来ればと考えている。

## 第2章 研究手法

### 2-1 画像処理方法

従来の歩行動作の研究では、その過程で実験者の判断に委ねられるような手法に頼って歩行者の位置を得ているものが多かったが、本研究では画像処理技術の進歩に伴い可能になった方法により、一定の精度を保つデータを得ることに成功している。具体的には、人間の頭髪部の濃度が歩道などの他のそれよりも高いことを利用して、ビデオカメラで撮影した映像の画面を2値化し、頭髪部を自動追尾して、1/30秒毎の位置を得ている。この方法を採用することによって、データの処理及び解析の際に実験者の恣意が入り込む余地がなく、信頼のおけるデータを得ることが可能となる。(但し、頭髪部の濃度が高いといっても、追尾対象の歩行者が濃い色の服装をしている場合、その精度は下がる。又、撮影場所に陰が出来ている場合も自動追尾が難しくなる可能性がある。これらの要因でデータの信頼性が欠けるものは、当然のことながら解析の際に用いてはいない。)

人間は左右の足の着床・蹴り出しの連続によって、歩行時にその頭部を左右に振りながら移動している。前述した画像処理方法によって得られた歩行位置のデータは、その過程で高周波の振動を含んでおり、これと頭部の左右方向の振動を区別する必要がある。頭部の左右方向の振動が1.0Hz前後であることを考慮して、1.2Hz以上の周波数はフィルターを通してカットする。これにより画像処理の過程における誤差はあるものの、現実の歩行動作を画面上に再現することが出来る。

これで解析に必要なデータが揃ったのだが、ここで得られる頭部の振動を含むデータによる歩行軌跡では、歩行動作の細かな状況を正確に把握しにくい。そこで移動平均というものを行って滑らかな歩行軌跡を得ている。移動平均を行わずとも事足りるデータではあるが、この処理によって解析の際の利便性が増すことから活用することにした。<sup>(2) (3)</sup>

### 2-2 撮影場所

撮影場所は名古屋・栄のビジネス街の歩道である。その場所を図-1に示す。この場所には道路標識・変圧器・街路樹が存在する。本来ならば解析目的に無縁の障害物が歩道上に全く存在しない状況が理想であるが、現実に必要なとされるいくつかの条件を全て備えるような場所は少なく、見つけ出すのは容易なことではない。本研究の撮影及び解析のために必要と考えられる条件を以下に挙げておく。他の障害物が歩行者に与える影響は無視出来ないが、これらの条件を優先して撮影場所を選定した。

- ・直線的な歩道であること。
- ・歩道の勾配が出来ただけ小さいこと。
- ・ビデオカメラによる撮影のため、その設置が可能な場所が存在する

こと

- ・歩行者密度が大きいと単独歩行という条件を満たすのが難しくなり、小さいと十分なサンプルが得られないという理由から、適度な歩行者密度が望まれること。

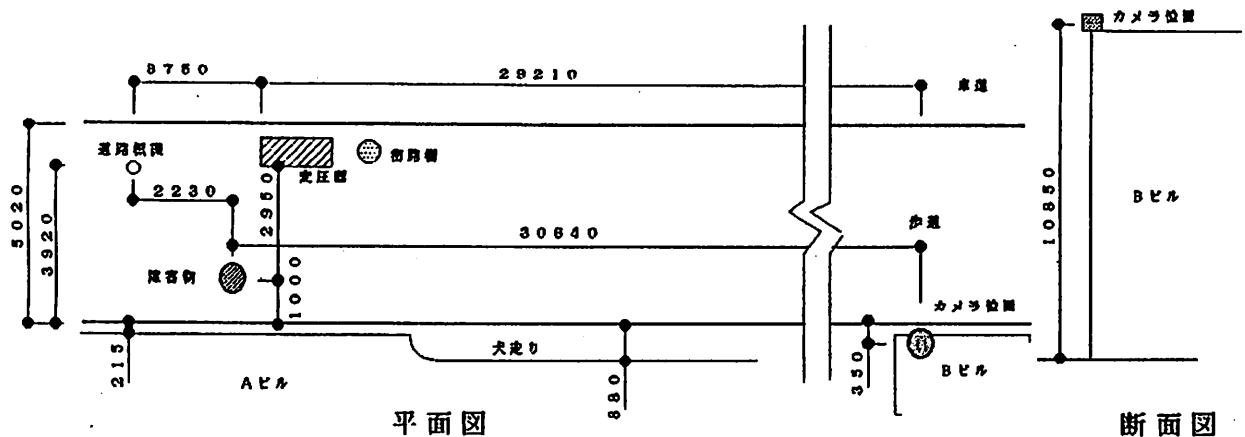


図-1 撮影場所

ビデオカメラは図-1で示したようにビルの屋上に設置しているので、歩行者がその存在に気付くことはない。つまり、ここで得られるデータは実験で得られるデータよりも現実の歩行状況に近いものだと言うことができる。第1章で触れたように、本研究は単独歩行を対象にした解析が目的なので、撮影対象の歩行者の周囲に別の歩行者が存在する場合は、解析に用いるデータから除外している。周囲にいる歩行者というのは、歩行動作に少なからず影響を与える可能性があり、データの信頼性を損なう恐れがあるからである。

### 2-3 歩き出す障害物

障害物についての歩行軌跡のデータを何例か採取しているが、ここでは歩き出す障害物について解説を加えたい。ここでいう歩き出す障害物とは勿論人間のことであり、実験者である。実験者が最初に立っている位置を原点として道路に平行にX軸、垂直にY軸をとって、撮影対象の歩行者がX軸方向のある位置を通過したら、実験者はX軸方向に真っ直ぐに定速で歩いて行く。ある位置とは原点からX軸方向に14m・9m・4.5m離れた三種類の位置であり、それぞれについての歩行軌跡のデータを得ている。実験者は相手の歩行者が向かってこようとも進路を変更することはせず、ただ真っ直ぐ歩くものとする。実際にこのような歩き方をする人間は希で、現実には回避行動とは言い難いのだが、偶発的に起こる対面する歩行者同士の回避行動をビデオカメラに収めるのは殆ど不可能と考えられ、実験的な色合いが出ることは止むを得ない。

本章の画像処理方法の項で述べたように、頭部の自動追尾が行いにくくなる場合がある。

当初は障害物の歩行軌跡を利用することを考えていなかったために、手違いで障害物の自動追尾が行いにくい状況となった。そこで最初から最後まで両者の歩行動作のデータを得られた16例の各カウント数（1カウント1/30秒）に於ける実験者の歩行距離を図-2に示す。この16例を見る限りそれぞれに余り差異がないので、これを基に図-3に示すような定速の歩行に置き換える。I-IA=0は撮影対象の歩行者が前述した位置を通過した時のカウント数である。障害物である実験者は自分で判断するために、予定していたよりも早く歩き始めている。歩き始めから、任意の一定速度に達するまでに時間がかかるため、図に示すように各時刻に於ける歩行距離を折れ線で標準化して以下の分析に利用している。

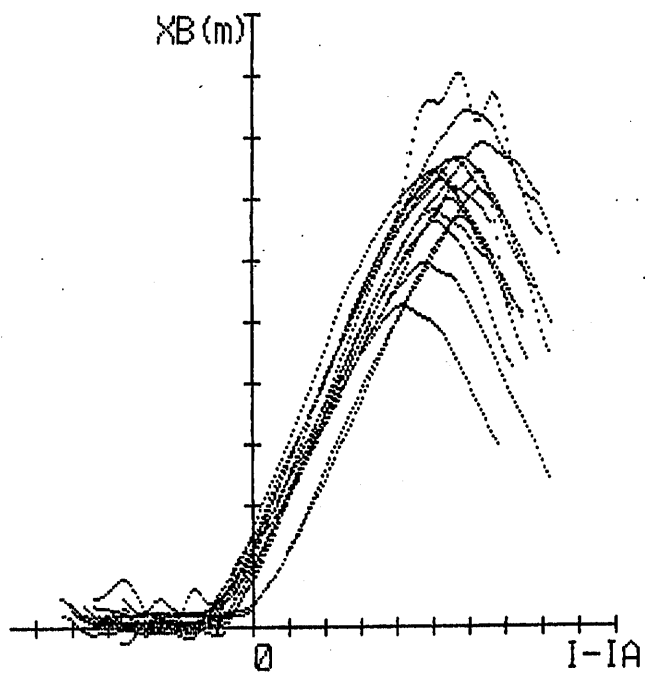


図-2 障害物の各カウント数における歩行距離

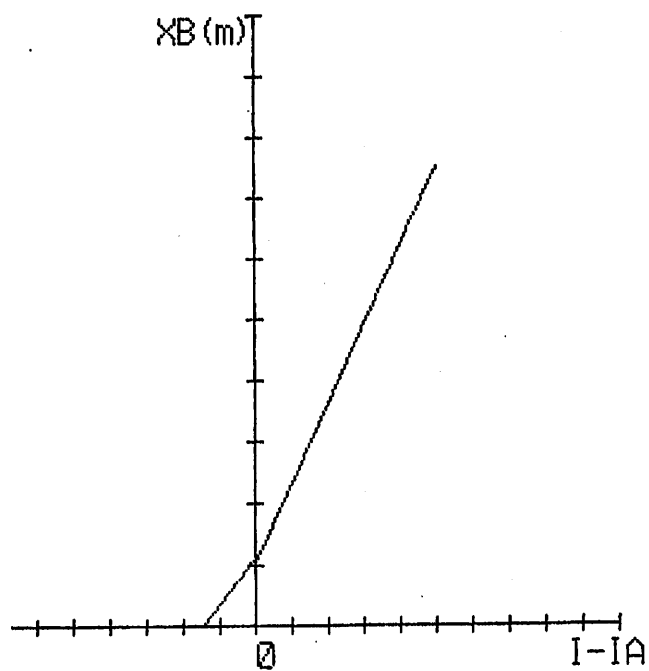


図-3 簡単に置き換えた障害物の各カウント数における歩行距離



### 第3章 既往の歩行シミュレーションモデル

本研究に入る前に、幾つかの既往の歩行シミュレーションモデルを検討する。ここでそれを行う理由は、本研究がこれらの歩行シミュレーションモデルに対して疑問を抱き、その解明を目指して行われたものだからである。

#### 3-1 MODEL 1(磁気モデル)<sup>(4)</sup>

一般に磁気モデルと呼ばれ、磁気と運動方程式によって歩行者の移動を表現している。つまり、各歩行者と壁や柱や手摺などの障害物に正の磁極を与え、目的地点には負の磁極を与えることによって、歩行者に働く磁力を合成し、加速度・速度・位置を得るものである。但し、通路に平行で真っ直ぐな磁力線が特別に考案されている。目的地点からの磁力を受け続けていると加速度が増加する一方であるが、このモデルでは自由歩行速度（障害物などが全く存在しない状況下での歩行速度）を最高歩行速度とし、それ以上の速度にならないように設定されている。回避を判断するのは図-4に示す領域に於いてである。

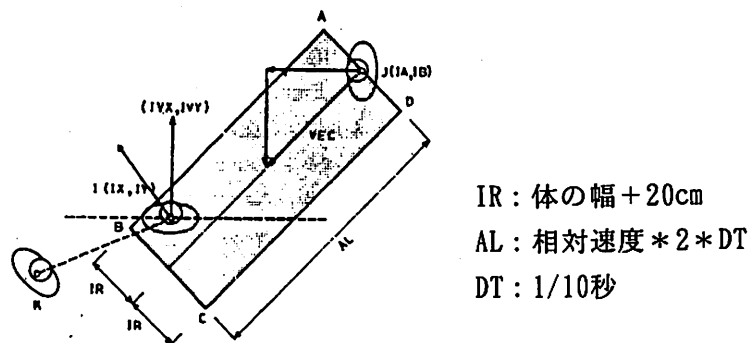


図-4 磁気モデルの回避判断領域

#### 3-2 MODEL 2(平井のモデル)<sup>(5)</sup>

五つの力の合成によって、歩行者の移動が決定するモデルである。磁気モデルと似ているが、力の与え方が明らかに異なっている。その五つの力を下に示す。

- 前方推進力 …各々の歩行者固有で、常にその進行方向に働く大きさ一定の力
- 反発力 …視野の範囲内で、ある距離以内に他の歩行者がいるときに働く力
- 個体回避力 …近くにいる他の歩行者の進路を予測し、衝突を避けるために自分の方向を変える力

壁からの反発力…壁との距離がある一定の値以下になったとき、壁の  
垂直方向に働く力  
目標に向かう力…大きさ一定で、歩行者が目的地に到着するための力

しかし、これらの五つの力の合成の計算の際に必要な定数は、実際の歩行動作を調査・解析して得られたものなのかは推測できない。

### 3-3 MODEL 3(ポテンシャルモデル)<sup>(6)</sup>

このモデルは空間をメッシュで表し、その一つ一つがポテンシャルを持つものとしている。ポテンシャルとは障害物が人間を排除しようとする力であり、幾つかの段階に分けられ等高線図として表される。目的地に向かう力および他の歩行者が持つ力も同様の考え方でポテンシャルを与え、これらを合成した等高線図(図-5)で表された空間の中を歩行者は移動する。移動の際のメッシュの選択方法と手順は下に示す通りである。

1. ポテンシャルの低いメッシュのうち目的地に近いものを選ぶ。
2. 進んできた方向と選んだメッシュの方向が違う場合は、数回進行方向に進んだ後、選んだ方向に移動する。

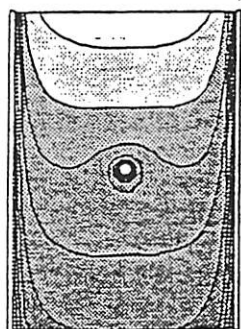


図-5 目的地と障害物のポテンシャルを合成した等高線図

### 3-4 歩行シミュレーションモデルの総評

この三つの歩行シミュレーションモデルの回避行動を図-6・7・8に示す。(但し、磁気モデル・ポテンシャルモデルは障害物に対する回避行動、平井のモデルは歩行者同士の回避行動)どのシミュレーションモデルの場合も、回避行動を起こさなければ、それぞれの条件から通路に平行に移動することになる。また、回避が終了した後、磁気モデル以外のモデルは、本来進んでいる筈の軌道に戻っている。回避行動開始の判定方法は各々のモデルで異なっていて、それがシミュレーション結果の違いとなって表れている。どのモデルの場合も、現実の歩行状況を実際に調査・解析し、そこから各条件の設定を行ったのかどう

かは明記していない。

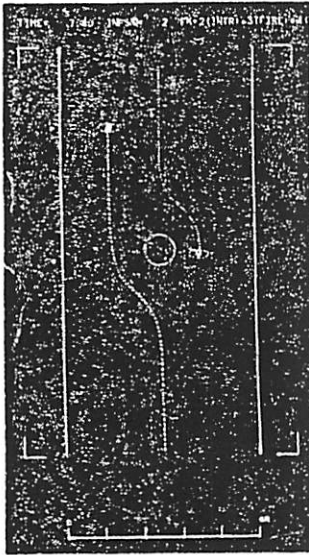


図-6 磁気モデルの回避行動  
シミュレーション結果

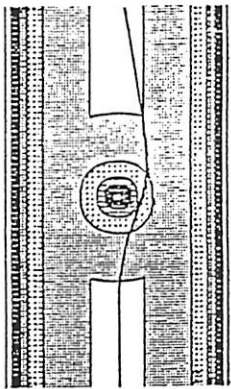


図-8 ポテンシャルモデルの回避行動  
シミュレーション結果

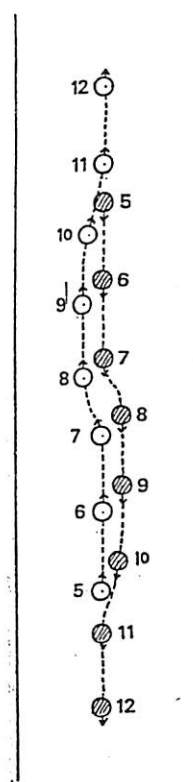


図-7 平井のモデルの回避行動

## 第4章 解析

### 4-1 自由歩行

第2章で述べた移動平均を行う際に、計測開始直後及び計測終了直前のデータが欠落してしまう。これが解析に支障を来すと都合が悪いので、念のために解析の区間をその影響が殆ど出ないような位置に設定する。解析開始は原点からX方向に13mの位置、解析終了は1mの位置とする。図-1と図-13でこれが確認できる。次に自由歩行（障害物の存在しない状況での歩行）の歩行軌跡を図-9に示す。歩行者は図の右から左に歩いている。歩行シミュレーションモデルにとって歩行者の直進性（歩道に対する平行性）は絶対条件であり、経験的に考えてもこれに間違いはないだろう。しかし、この「経験的」というのはいい加減な言い方であり、既往の歩行シミュレーションモデルのそういった対処の仕方に疑問を感じた訳なので、ここではその確認をする。

図-10、図-11に解析開始時と解析終了時のY方向の歩行位置の相対度数分布を示す。EY=0, KY=0というのは第2章で述べたX軸上のことであり、図-1で歩道の幅を確認すると分かるように、Y方向の歩行位置の範囲は-100~402cmである。（変圧器や街路樹などの障害物が存在するため、実質的には-100~295cm）解析開始時のY方向の平均歩行位置は75cm、解析終了時は68cmであり、各データにおける解析開始時と解析終了時のY方向のズレは、+が右方向へのズレ、-が左方向へのズレと決めたとときの平均で-7cm、ズレの絶対値の平均は34cmである。これらを表1にまとめておく。

表1 解析開始時および解析終了時のY方向の歩行位置とそのズレ

	平均 (cm)	標準偏差 (cm)
解析開始時のY方向歩行位置	75	88
解析終了時のY方向歩行位置	68	90
解析区間でのY方向のズレ	-7	51
解析区間でのY方向のズレの絶対値	34	38

解析区間は12mであり、歩行者のY方向のズレの絶対値は進んだ距離の1/35程度となり、左右方向を加味した場合は左に1/170程度のズレである。進んだ距離に対するズレの度合いはかなり小さいといって良いだろう。図-10、図-11を比較すると多少左にずれているような気がするが、その理由として考えられるのは、図-1の観察場所の平面図の左下の部分にショーウィンドウが存在していることである。これに気を取られている可能性が少なからずある。また、相対度数分布図のYの値は100cmの辺りが歩道の中心であることから、歩道の左側を通過する歩行者が多いことが分かる。歩行者密度が小さい場合でも、左側通行に対する指向性が潜在的に存在すると言えるのではないだろうか。

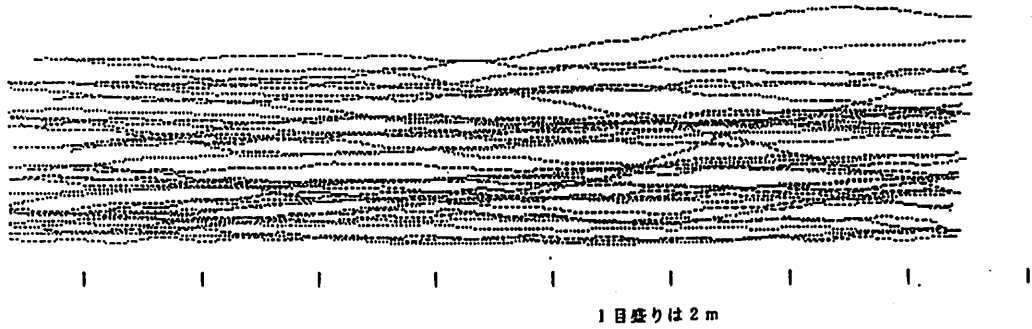


図-9 自由歩行の歩行軌跡(n=42)

図-12は各歩行者の解析開始時のY方向歩行位置と解析終了時のY方向歩行位置との関係を示したものである。図中の破線はその二つの位置が同じであることを表している。各歩行者により違いがあるものの、全体的には破線上に乗っている。Y方向の相対度数分布を考え併せて、歩行者は歩道に平行に歩くといいだろう。

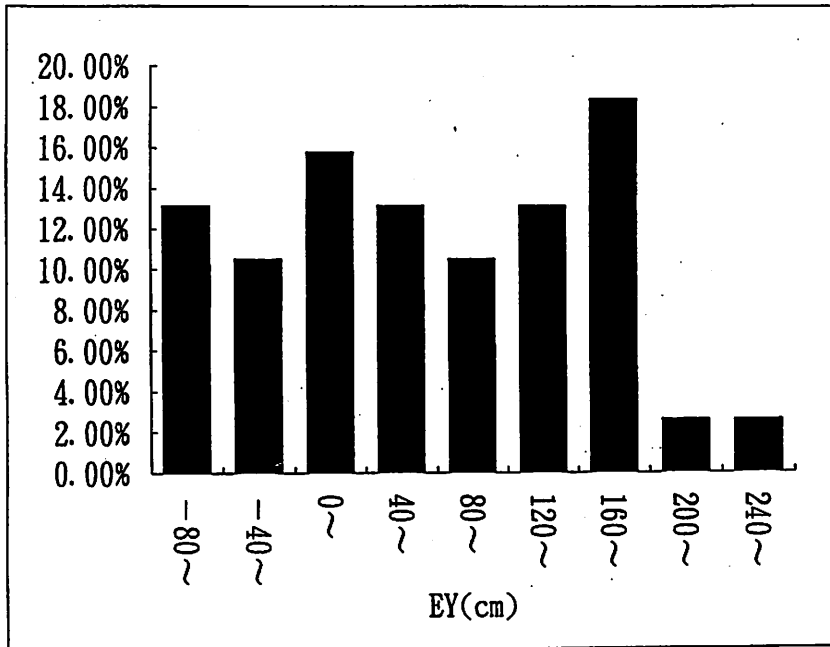


図-10 解析開始時のY方向歩行位置(n=42)

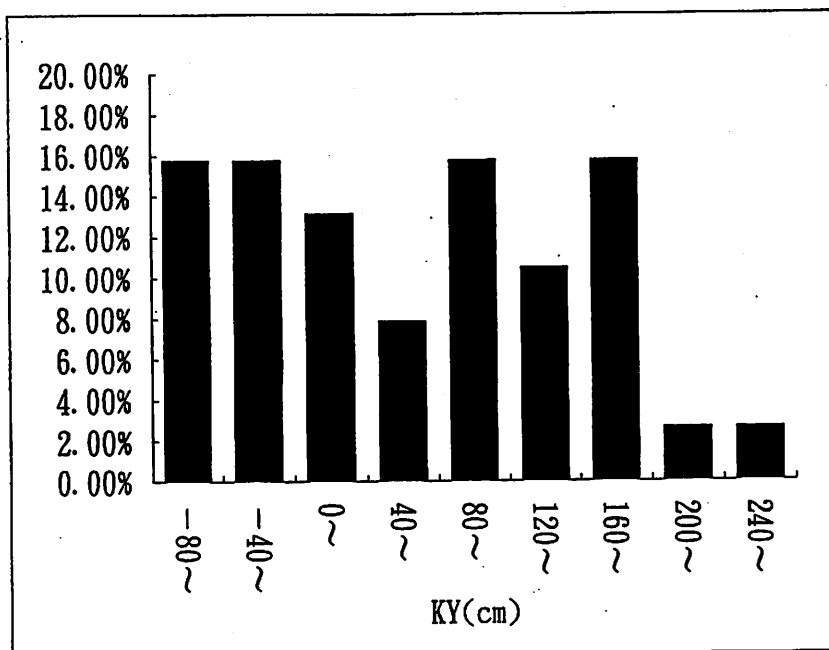


図-11 解析終了時のY方向歩行位置(n=42)

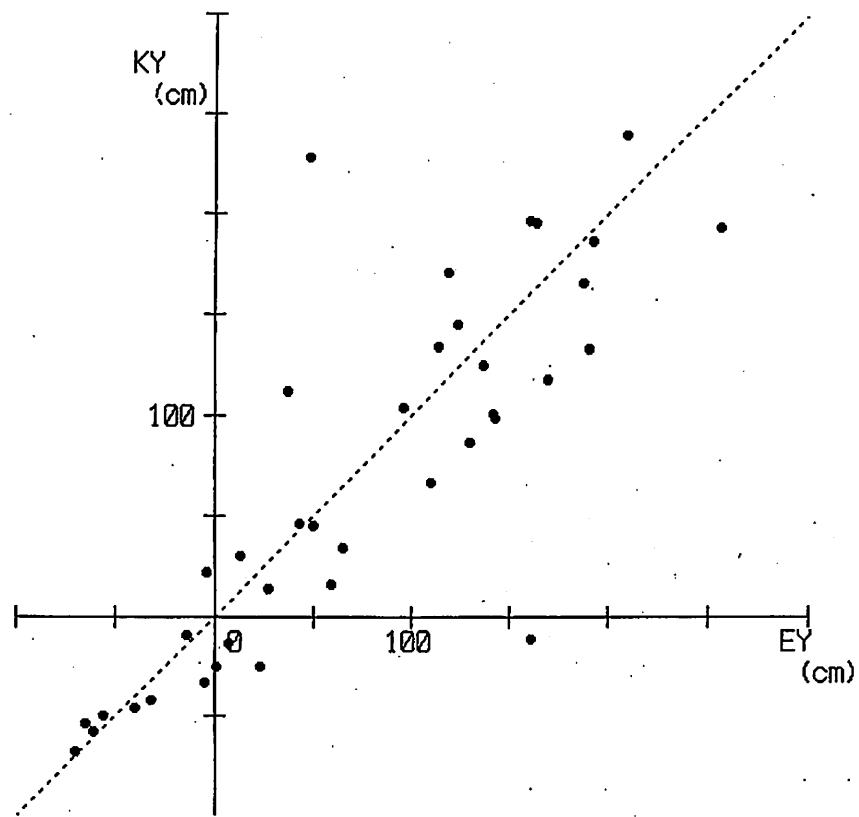


図-12 自由歩行のEYとKY(n=42)





向に違いはないと考え、左への回避を右への回避に変換しているため、EY-SYは必ず正となり、KY-SYはすれ違い後戻れば正、戻らなければ負となる。EY-MYも同様であり、KY-MYは解析区間内の最大のズレであるため、基本的に負の値は取り得ないのだが、1/30秒毎の不連続なデータであるため、解析区間内の最終データと解析終了位置の差により、図上では負の側に飛び出してプロットされているものもある。それぞれに上下の図を見較べてもその違いは分からない。当然のことながら、障害物が歩き出す位置が違うのですれ違う位置も違う。すれ違う位置は「14m」・「9m」・「4.5m」と徐々に解析終了位置に近づき、SX・MXが徐々に小さくなり、KY-SY及びKY-MYはそれに従い値が小さくなっていく。各軸の平均値をそれぞれのパターン毎に表2に示す。

表2 EY-SY, KY-SY, EY-MY, KY-MYの平均値

	14m		9m		4.5m	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
EY-SY(cm)	41	28	49	39	71	55
KY-SY(cm)	15	23	9	22	1	14
EY-MY(cm)	50	29	59	40	81	52
KY-MY(cm)	20	18	19	17	11	14

次に図-21で示すのは、SXと(KY-SY)/(EY-SY)の関係についてである。歩行者はそれぞれ固有の歩行速度を持っているので、障害物が動き出すのが早いほどその差が歴然として、「4.5m」・「9m」・「14m」とSXのバラツキが大きくなっている。(KY-SY)/(EY-SY)が1のとき、すれ違い前と後で同じ量だけ移動したことを意味し、それより大きいときは戻りすぎ、それより小さいときは戻り切れていないことを示している。どのパターンについても縦軸方向のバラツキが大きく、回避後の位置に拘泥した研究の場合、すれ違ったときというのは余り重要な意味を持っていないようである。その平均値は「14m」・「9m」・「4.5m」と、SXが小さくなるにつれて徐々に下がっている。各軸の平均値をパターン毎に表3に示す。

表3 SX, (KY-SY)/(EY-SY)の平均値

	14m		9m		4.5m	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
SX(cm)	606	42	375	29	165	12
(KY-SY)/(EY-SY)	0.62	1.07	0.14	1.54	-0.15	0.6

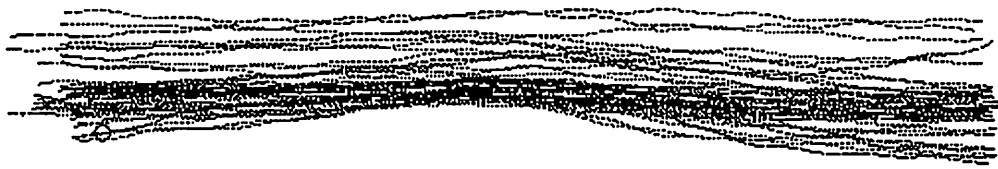
図-22~24にはMXと(KY-MY)/(EY-MY)の関係を示している。図上の曲線は(KY-MY)/(EY-MY)=MX/(1200-MX)を満たすものである。この曲線とプロットされた点との相関係数は、「14

m]・「9m」・「4.5m」の順に0.56・0.64・0.66である。あまり高い相関があるとは言えないが、障害物の影響を受けないような位置を真っ直ぐ歩いている歩行者を含んでいることを考えると、相関があると言っても過言ではないだろう。又、 $(KY-MY)/(EY-MY)=MX/(1200-MX)$ という式は回避前と回避後のY方向の移動量がX方向の移動量に比例するという考えを基にしているが、実際の歩行では回避に必要なX方向の距離と戻るのに必要なX方向の距離が異なる可能性がある。各軸の平均値及びMXの平均値による $MX/(1200-MX)$ をパターン毎に表4に示す。

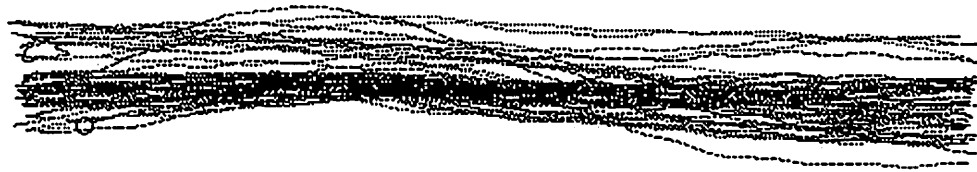
表4 MX,  $(KY-MY)/(EY-MY)$ の平均値とそれによる $MX/(1200-MX)$ の値

	14m		9m		4.5m	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
MX(cm)	756	248	885	219	979	209
$(KY-MY)/(EY-MY)$	0.52	0.5	0.47	0.5	0.25	0.35
$MX/(1200-MX)$	0.59		0.36		0.23	

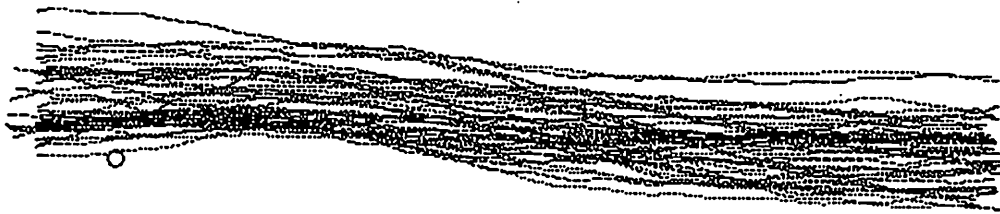
最後に図-25に「14m」の各歩行者の解析開始時のY方向歩行位置と解析終了時のY方向歩行位置との関係を示す。図-12自由歩行のものと比較すると分かるように、両図は似たような分布を示している。つまり、回避後に解析終了位置までの距離が十分にあれば、歩行者はもとの軌道に戻ることを表している。



X=14mで実験者が動き出す



X=9mで実験者が動き出す



X=4.5mで実験者が動き出す

1目盛り1m

図一14 回避行動の歩行軌跡

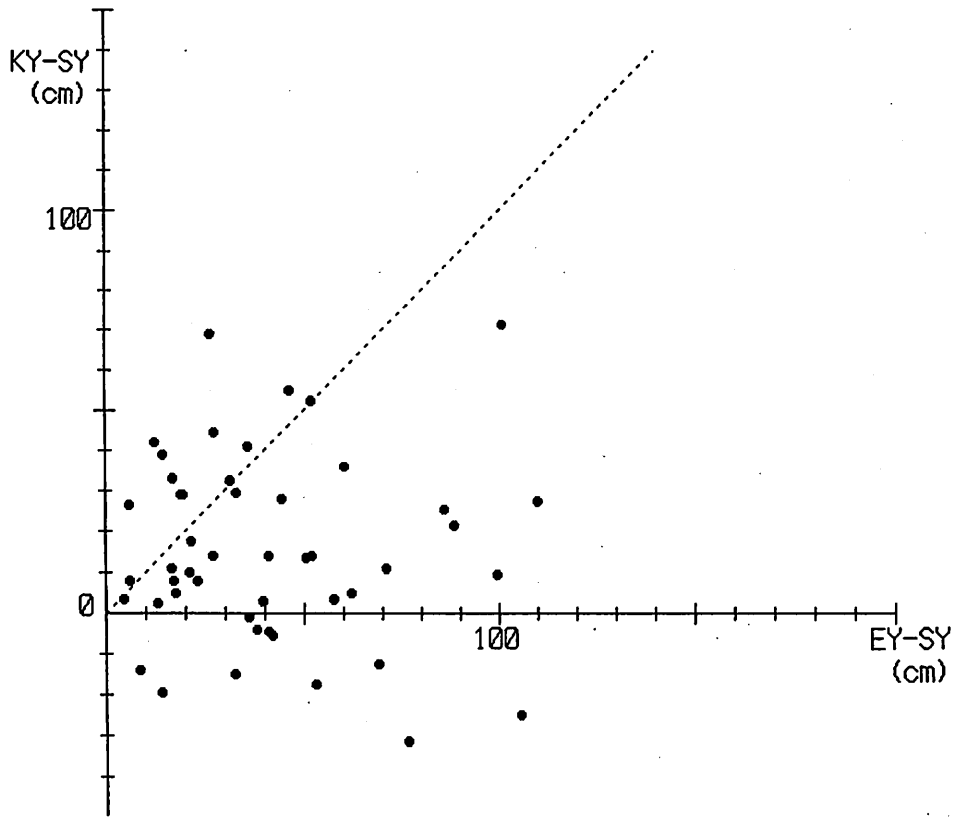


図-15 「14m」のときのEY-SYとKY-SYの散布図(n=48)

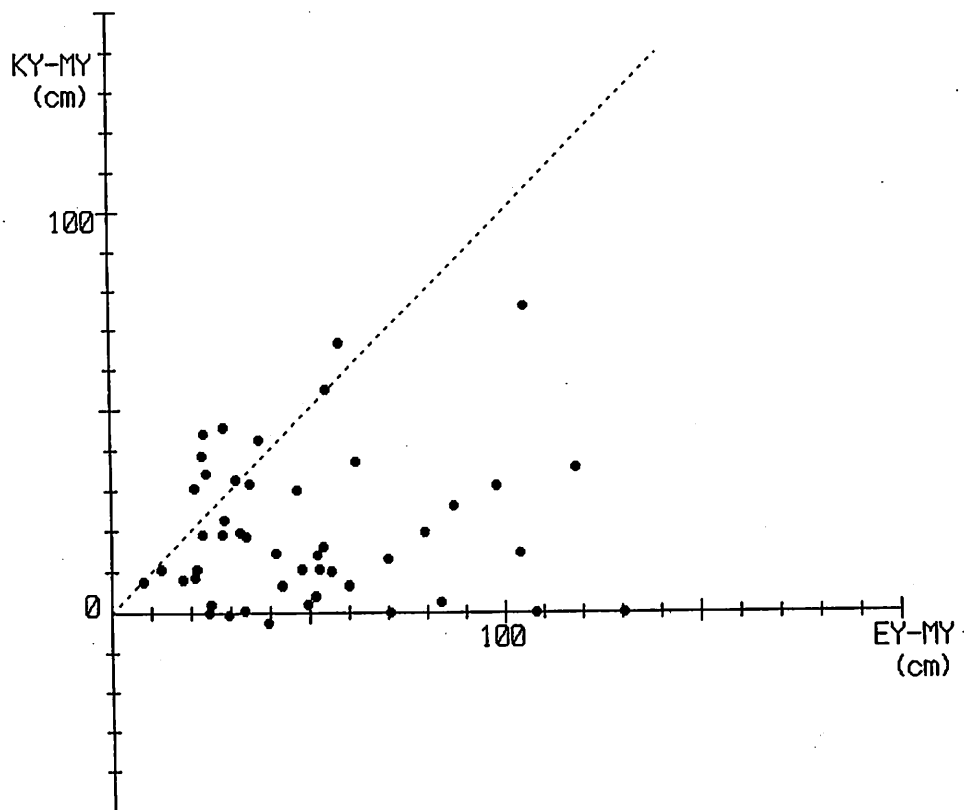


図-16 「14m」のときのEY-MYとKY-MYの散布図(n=48)

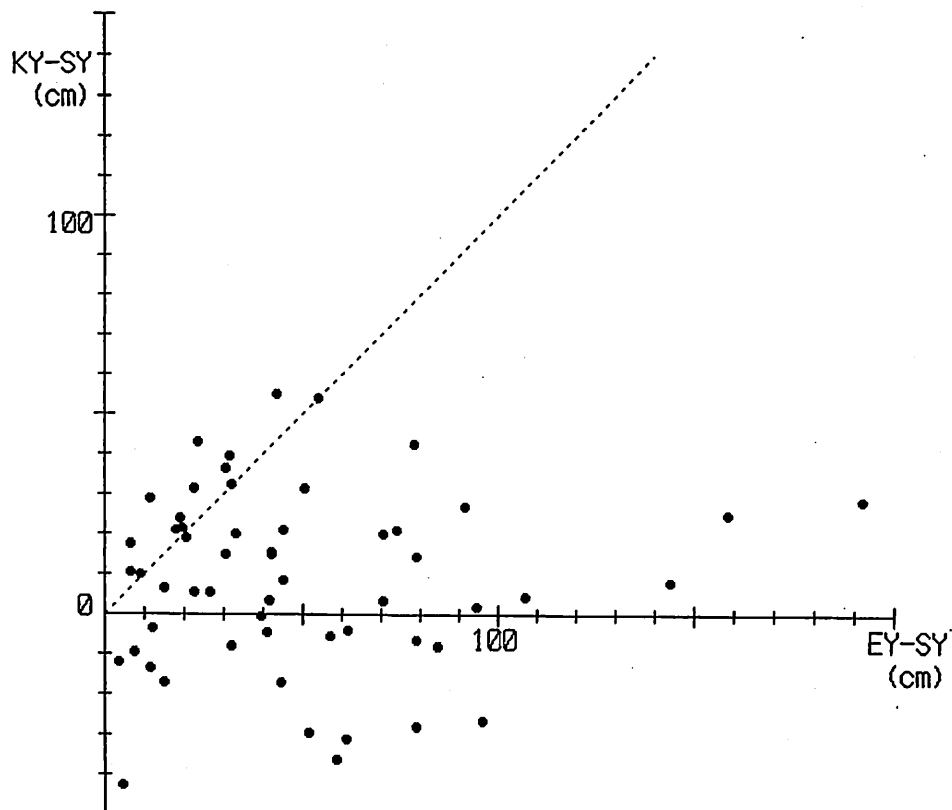


図-17 「9m」のときのEY-SYとKY-SYの散布図(n=56)

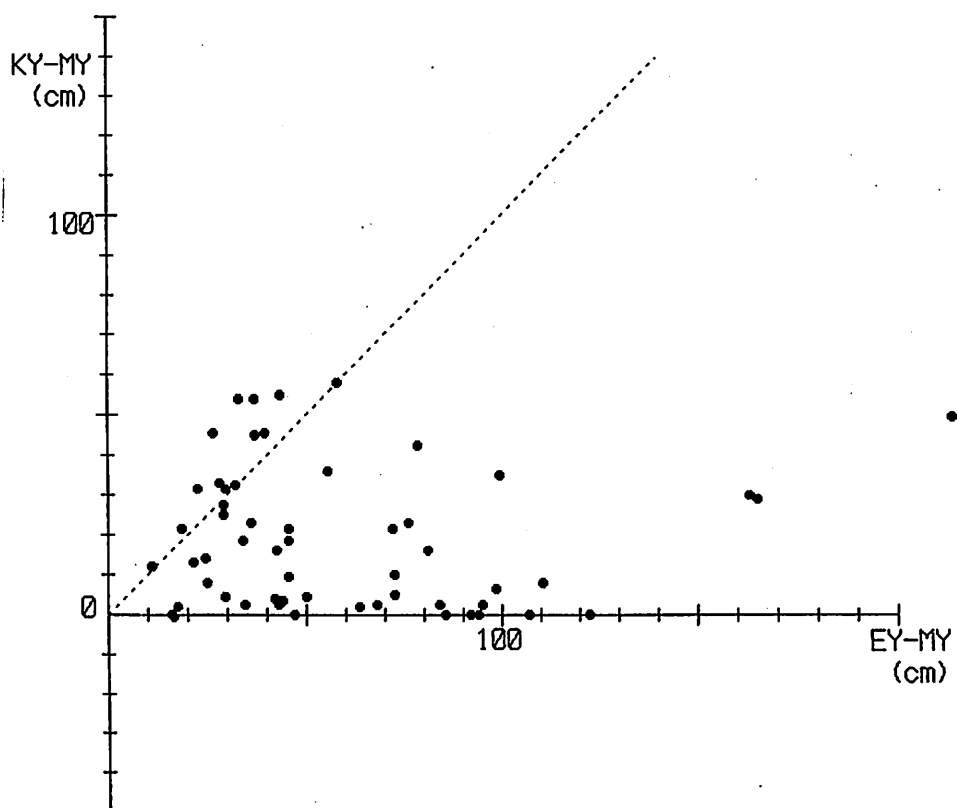


図-18 「9m」のときのEY-MYとKY-MYの散布図(n=56)

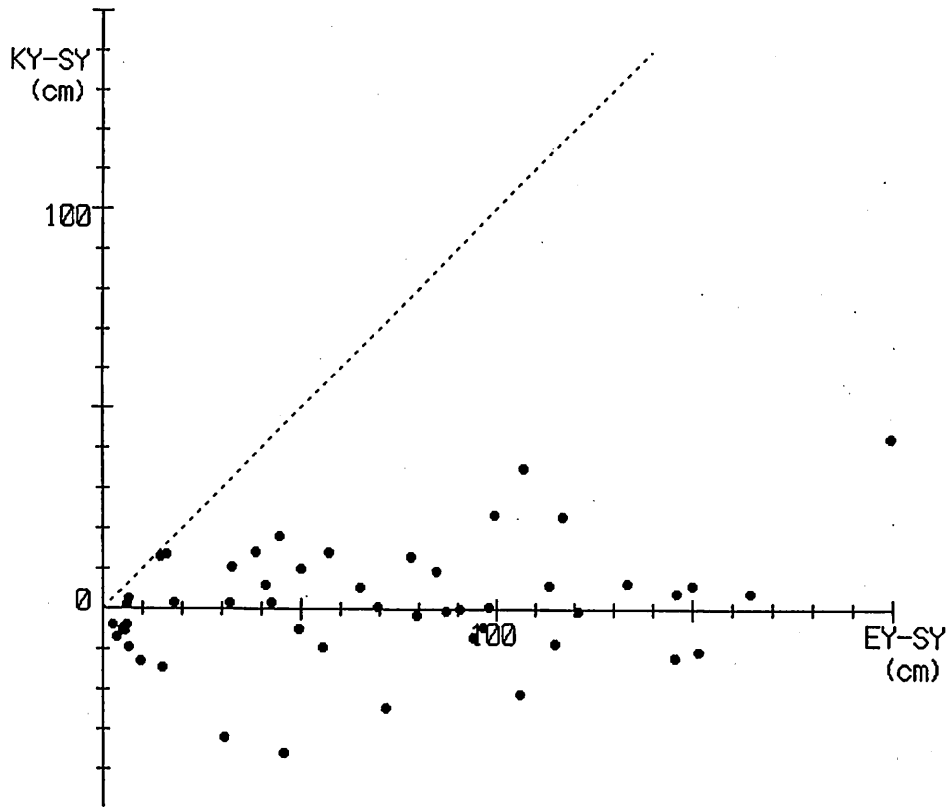


図-19 「4.5m」のときのEY-SYとKY-SYの散布図(n=51)

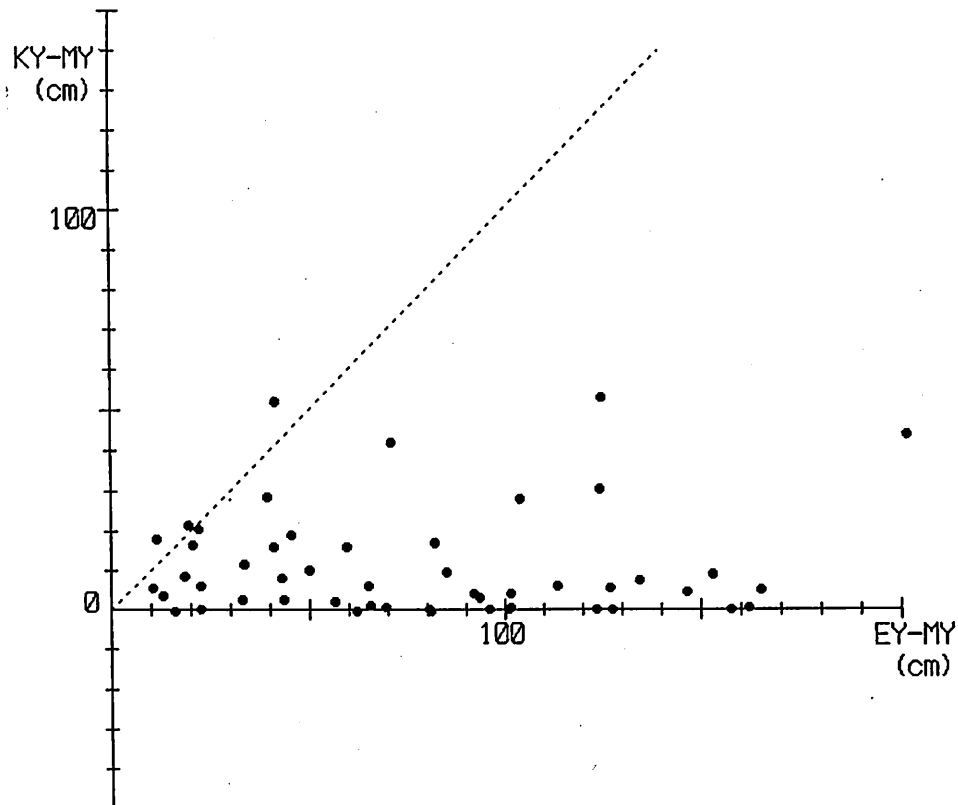


図-20 「4.5m」のときのEY-MYとKY-MYの散布図(n=51)

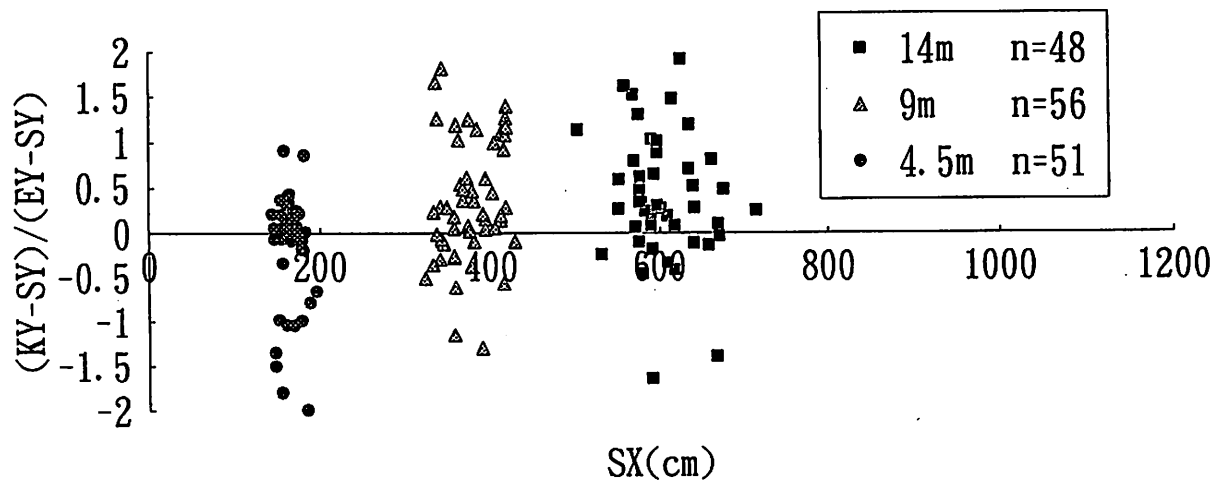


図-21 SXと $(KY-SY)/(EY-SY)$ の散布図

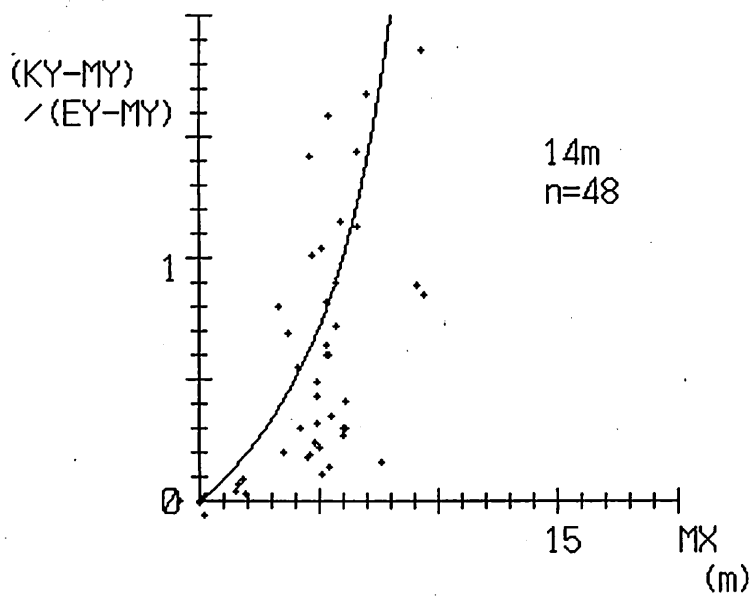


図-22 「14m」のときのMXと $(KY-MY)/(EY-MY)$ の散布図

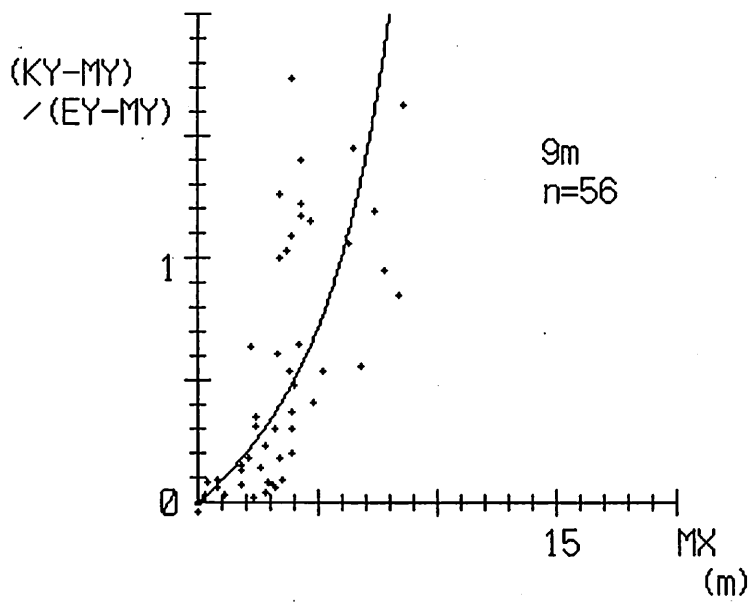


図-23 「9m」のときのMXと $(KY-MY)/(EY-MY)$ の散布図

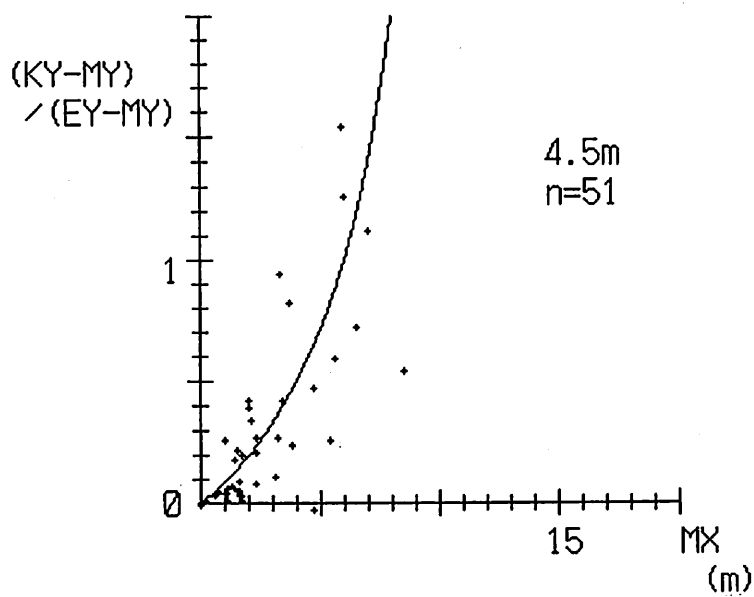


図-24 「4.5m」のときのMXと $(KY-MY)/(EY-MY)$ の散布図



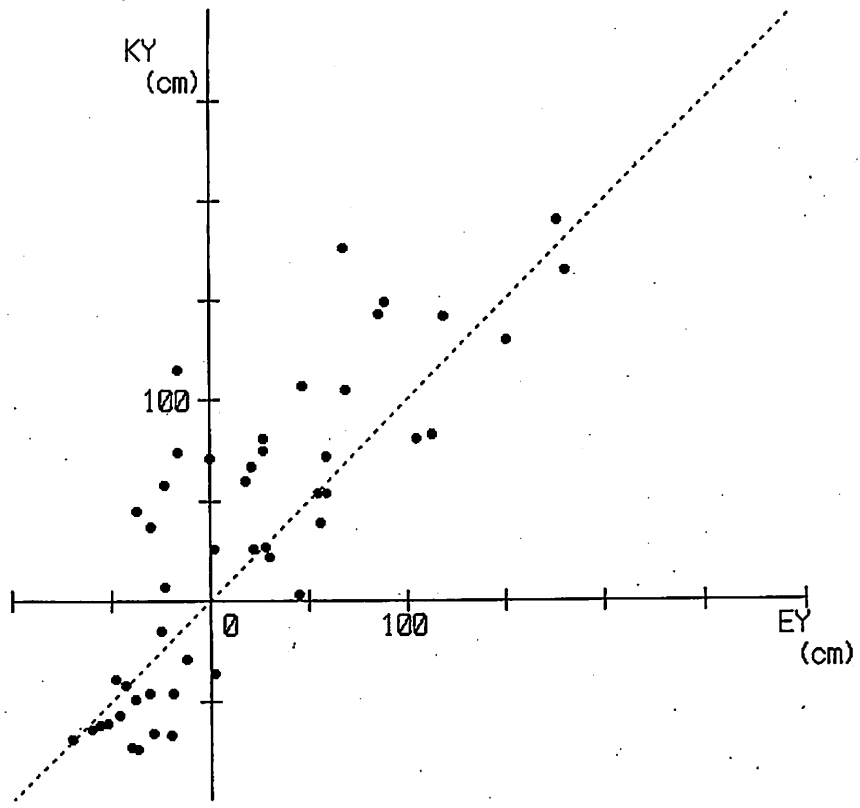


図-25 回避行動のEYとKY(n=48)

#### 4-3 回避行動開始の判断

回避行動を語る場合、その判断をどこで行うのか、あるいは行動を始めるのはどこなのかは大変重要な問題である。既往の歩行シミュレーションモデルでもその点の見解はまちまちであり、統一がなされていない。歩行動作の中でも、この部分については説明が遅れているようである。そこで本研究でもこの点に関する検討をしてみたい。

本研究では歩行時の加速度からのアプローチを試みる。これまで扱ってきたデータは1.2Hz以上の高周波をカットしたものだったが、このデータで時間による加速度の変化を描いてみると、X方向の値が離散値となることが分かった。歩行時に人間の頭部が左右に振動していることは前述したが、実際には前後にも振動している。それは足の蹴り出し、着床の連続によって起きるものである。1.2Hz以上で高周波をカットした理由は、左右の振動が1.0Hz程度だからであるが、前後方向の振動は約2.0Hzである。よって、前後方向の振動に影響が出ているのではと考え、カットする周波数を3.0Hz以上としてみた。

この結果を示す前に高周波をカットする方法について説明する。画像処理技術によりデータの処理能力が飛躍的に上昇したが、得られるデータはその性格上離散値となる。このデジタルな値をアナログに戻す必要があり、これがフィルタリングと呼ばれる手法である。デジタルフィルタとは実体のないもので、コンピューターの演算処理などによるものを指している。今回使用しているのはFIR(Finite Impulse Response)フィルタと呼ばれるインパルス応答が有限のものである。このフィルタは入出力の位相差が信号の周波数に比例するという直線位相性を実現している。ここで得られるインパルス応答ではまだ不十分なため、これに窓関数をかけて十分な減衰を得る。そしてこれを離散値に畳み込むことによって、デジタル値をアナログ値に変換する。<sup>(7)</sup>これが処理方法の概要である。窓関数は4種類用意してある。ここで使用している窓関数はHammingであり、そのインパルス応答を図-26に示す。

こういった方法を経て連続的なデータを得るわけだが、何故か1.2Hz以上でカットすると離散値となる。ところが、3.0Hz以上だと連続したデータが得られるので、ここではそのデータを基に考えてみたい。図-27・28に自由歩行と回避行動の軌跡と時間による加速度の変化の一例を示す。この二つを較べていえることは、自由歩行の場合加速度の変化は単調で規則正しい変化をするのに対して、回避行動の場合は法則性を見出しにくい。回避行動開始の位置を定めるのは困難だが、回避後戻ろうとする位置は明確に表れている。(X方向加速度が正、Y方向加速度が負で、飛び出しているところ)また、両者のX方向の加速度の大きさに二倍近くの差がある。自由歩行と回避行動では明らかに傾向が違うので、回避行動が開始されると自由歩行から逸脱するのは確かだが、現時点ではその傾向を特定することは出来ない。

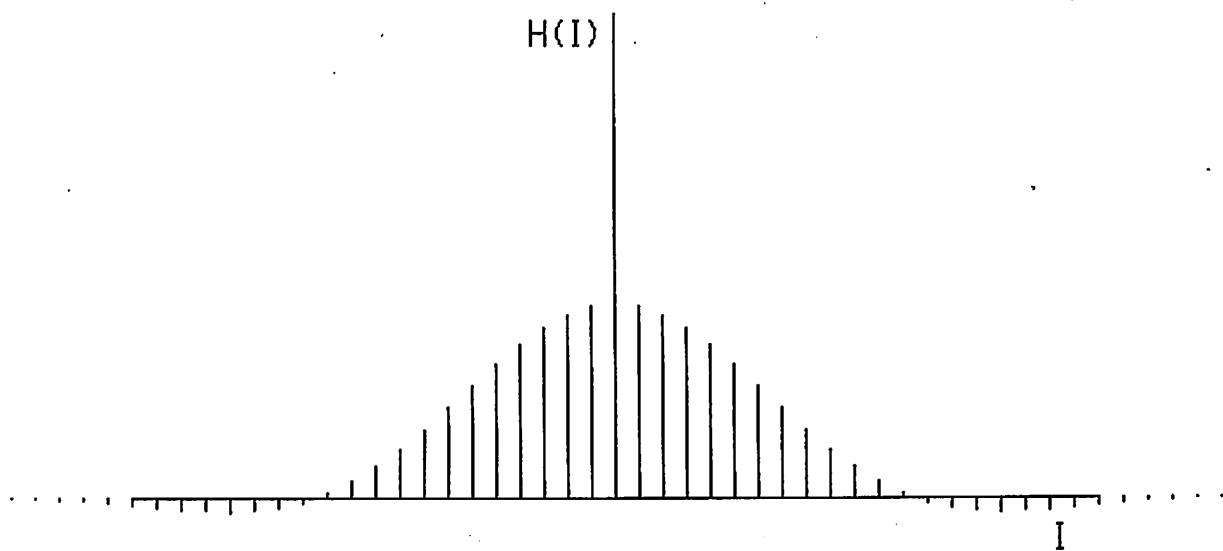


図-26 Hammingを使用したときのインパルス応答

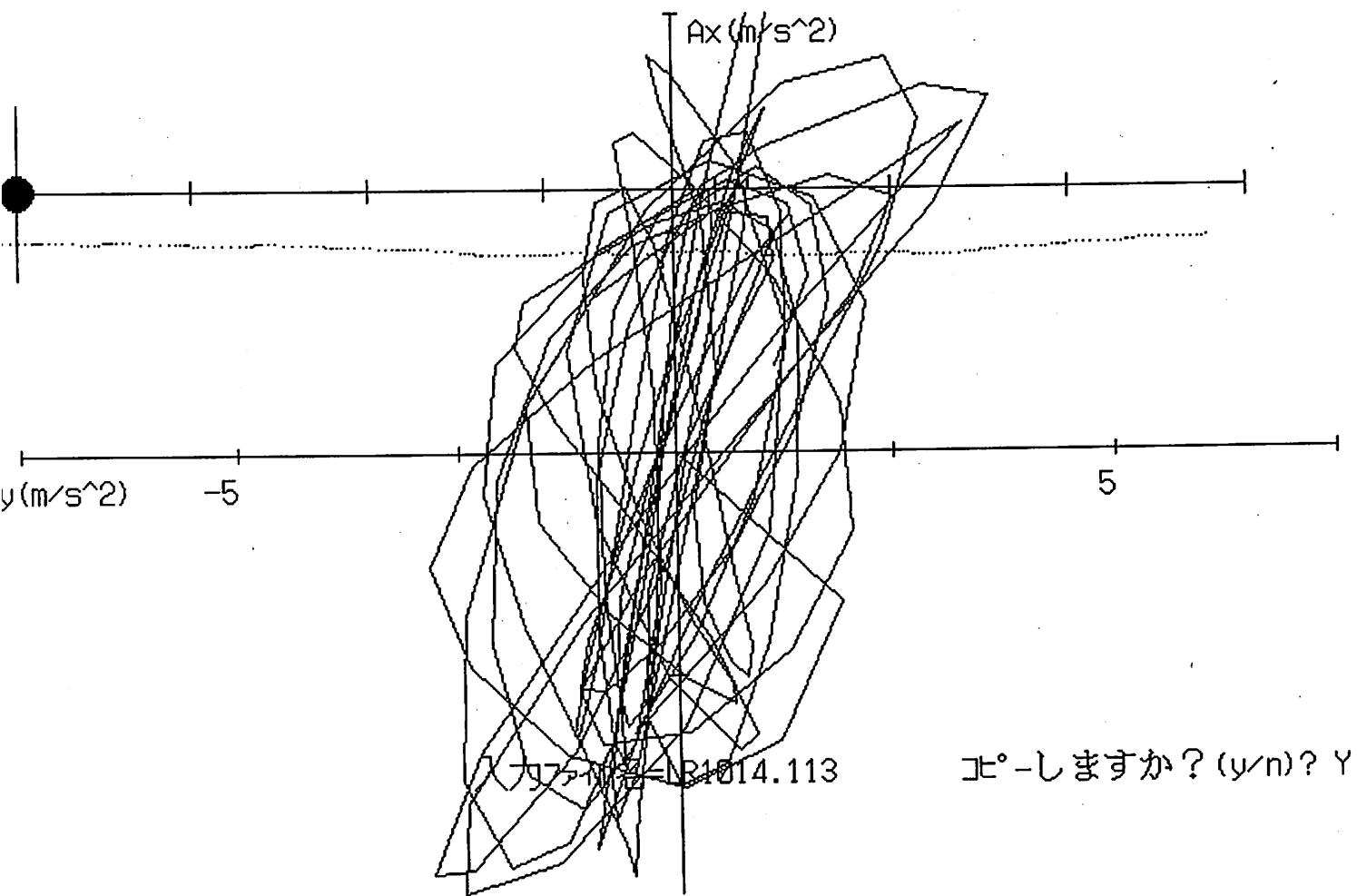


図-27 自由歩行の時間による加速度の変化と歩行軌跡

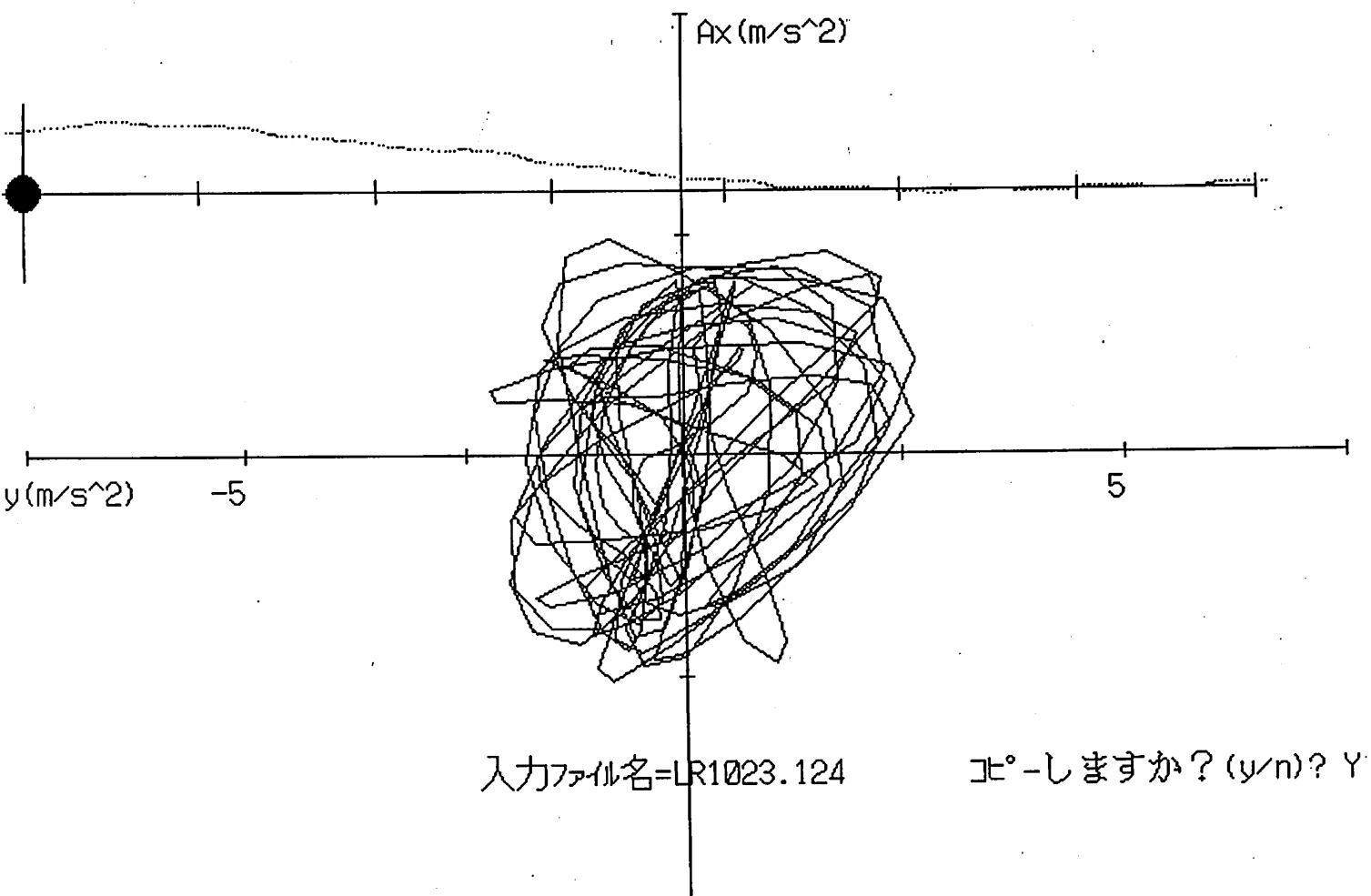


図-28 回避行動の時間による加速度の変化と歩行軌跡

## 第5章 考察

本研究では歩行者が回避後にどの程度もとの軌道に戻るのかについて検討した。結果的には戻ると言えそうなのだが、それは何故だろうか。前述したようにエネルギーを消費する行動であり、それが行われなくてはならない必然性がない。そこで自由歩行のところで少し触れたのだが、歩道の左側を歩く人間が多いことから、建築計画の分野で言われるところの左側通行を潜在的に指向している可能性は考えられないだろうか。ちなみに図-14で示した三つの歩行軌跡の解析開始時のY方向歩行位置の平均値を表5に示す。歩道の中心がEY=100であることを考えると、はっきりと左側通行が認められる。又、左側へ回避する歩行者が多いことも説明がつく。但し、この場合は左側に回避して元の軌道に戻ることは説明できない。よって、ここでは各歩行者はそれぞれ歩きたいと思う歩道の位置が決まっています、障害物の存在などの理由で、その軌道から外れたときは自分の好みの位置に戻るという考え方をします。この歩道で左側通行が起きるのは、ビルの内部に興味を惹かれていたり、車道寄りを避けているからだと考えられるので、左側通行を証明することはできないからである。

回避行動の研究は歩行動作の研究の全般を加味した上で行われなくてはならない。歩行時の行動の一部なので当然のことだが、以外とこれが難しいことなのである。それは人間の心理的側面に関わってくるからである。歩行動作の研究において必要なのは、各歩行状況におけるデータの蓄積であり、本研究に関しても更にデータを集める必要があるだろう。例えば同じ撮影場所で今までとは反対の方向へ歩いている人間の解析や、歩行者に影響を与える因子が更に少ない場所での解析などである。そして、同じ歩行者を街角で気付かれずに追跡するのが可能であれば、そうするのが最適である。このようなデータの蓄積によって、本研究で問題にしている回避後の回帰性について明確な答が得られるだろう。

表5 回避歩行の解析開始時のY方向歩行位置の平均値

EY(cm)	14m		9m		4.5m	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
	18	62	5	57	9	57

## 第6章 終わりに

歩行動作の研究はまだ入り口の段階であり、これからの発展が必要とされる分野である。建築の分野でも人間の歩行の特性を知ることは必要と思われる。主にこれが必要となるのは建築計画の分野であろうが、防災の分野でも将来実用される可能性があり、重要な意義を持っている。非常時における人間の行動特性は普段では考えられないようなものだが、それさえも把握し、歩行シミュレーションモデルが確立されたとすれば、事前に災害を食い止めることが容易になるに違いない。その為にもこれからこの研究を進めて行くには、あらゆる状況におけるデータを蓄積し、その解析によって人間の行動特性を見定めることが必要である。

最後に本論の作成に当たって御指導頂いた辻本誠氏、愛知工業大学の建部謙治氏、そして御協力頂いた防災安全工学講座の大学院生及び愛知工業大学卒論生の皆様に心より感謝いたします。

引用文献

- (1) 「歩行時における行動特性に関する研究」  
小西 啓史  
応用心理学研究 No. 8 25-33 1983年
- (2) 「画像処理を利用した回避行動開始点の判定方法」  
建部 謙治、辻本 誠 他  
日本建築学会東海支部研究報告 1991年2月
- (3) 「歩行解析への画像処理技術の応用に関する研究」  
辻本 誠、志田 弘二 他  
日本建築学会計画系論文報告集 第436号 1992年6月
- (4) 「建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究」  
岡崎 甚幸  
日本建築学会論文報告集 第283号 1979年9月
- (5) 「歩行者の行動モデルとシミュレーション」  
平井 一正、西田 素之  
人間工学 Vol13 No. 5 1977年
- (6) 「ポテンシャル等高線図による歩行モデル」  
伊藤 英信、柳田 武  
日本建築学会大会学術講演梗概集 1992年8月
- (7) 「デジタル信号処理入門」  
三上 直樹  
トランジスタ技術 1987年12月、1988年1月