

# 移動体通信における移動体の動きの測定について

新潟大学工学部 システム技術系

阿達 透

## 1. はじめに

移動体通信では、一般電話の有線通信とは異なり、無線通信を用いている。無線通信においては、使用できる周波数に限りがあるため、周波数の有効利用が重要な課題となっている。

一般に移動体通信では、図1のようにサービスエリアを小さなゾーンに分けて、そのゾーン内の基地局と無線通信を行う。ゾーン内で使用できるチャンネル数は限られており、また隣のゾーンへの移動により新たなチャンネル割当てが必要となる。

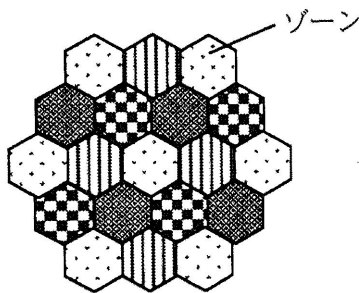


図1. サービスエリア

このようなことから、移動体通信における通信トラヒック特性の解析には移動体の動きを考慮する必要があり、移動体の動きの測定が必要となってくる。

## 2. 自動車の動きの測定

今から20年程前、移動体通信といえは自動車電話が一般的であった。私の所属する研究室においても、自動車電話に

おけるトラヒック特性の解析のため、自動車の動きの測定を行った。

測定には、エレクトロ・ジャイロケータを搭載した本田アコードを用いた。このシステムは世界初のカーナビゲーションシステムであった。エレクトロ・ジャイロケータとは、図2に示すように走行距離センサと方向センサの2つのセンサからの信号をマイクロコンピュータに取り込み、5インチ白黒ブラウン管上に走行軌跡を表示する装置である。走行距離センサは0.2m 走行毎にパルスが出力される。方向センサは車の方向変化によりジャイロ内のヘリウムガスの流れの変化を検知して方向変化を測定するものである。

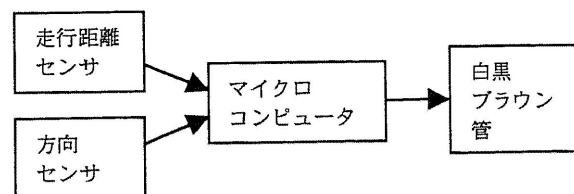


図2. エレクトロ・ジャイロケータ

図3にデータの測定から処理までの流れを示す。上記2つのセンサからの信号を自作のインターフェースを通してデータレコーダに保存していく。測定が終了したら、そのデータをパソコンに取り込み、フロッピーディスクに保存する。そ

のデータからパソコンで処理することにより、車の動きを解析する。

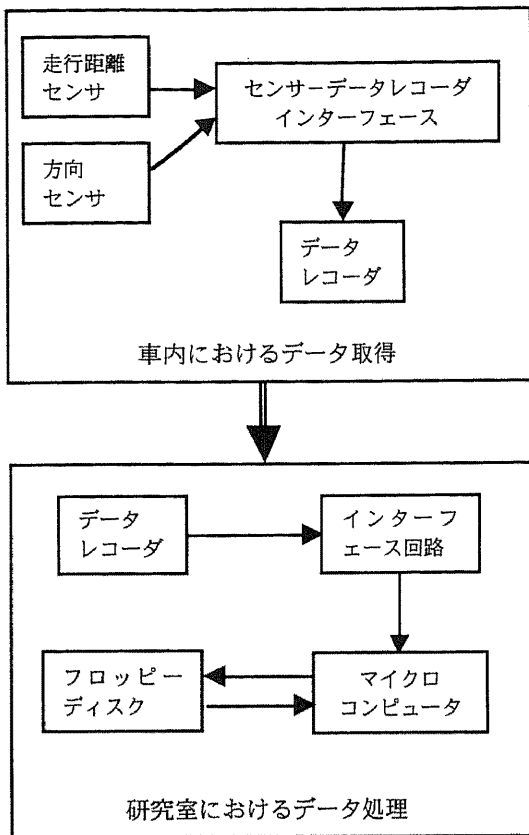
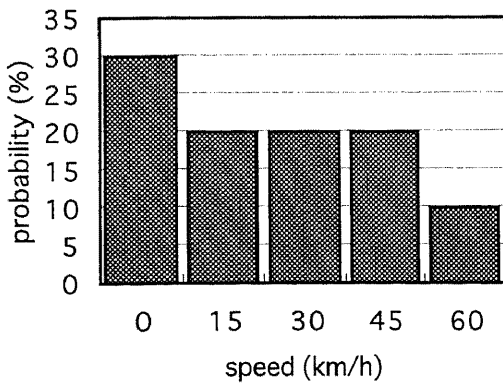
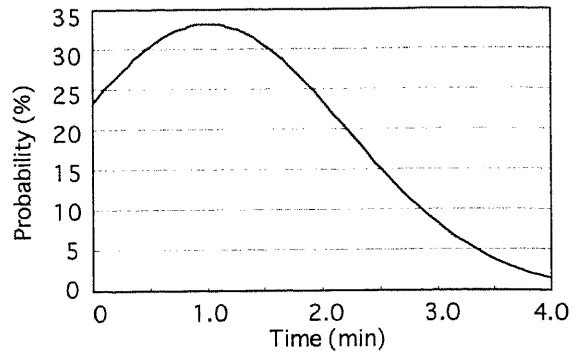


図3. データの取得から処理の流れ

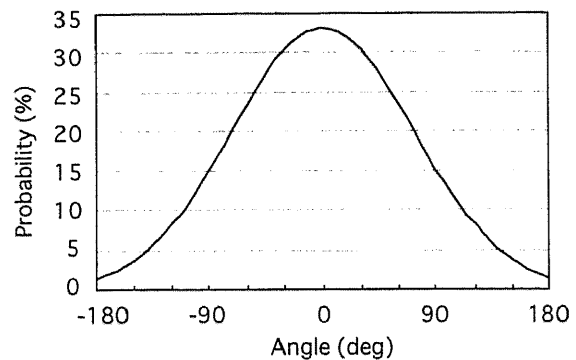
ここで、まず従来用いられていた自動車の動きに関する速度、直進時間、進路変更角度の仮定の一例を図4に示す。



(a) 速度の仮定



(b) 直進時間の仮定



(c) 進路変更角度の仮定

図4. 自動車の動きの仮定の一例

次に、実際に測定したデータを図5に示す。測定方法は、運転手の特徴や癖の影響を無くすため、バス、トラック、タクシー等、ある特定の車の後ろについて測定した。また、市街地、郊外、バイパス等、交通の流れの異なる道路で測定し、それぞれ速度分布、進路変更角度が毎秒 $3^\circ$ 未満は直進とする条件で求めた直進時間分布、2秒間隔で $3^\circ$ 以上の進路変更が合った場合の進路変更角度分布を求めた。ここでは右折と左折の区別をせず、直進状態からの変更角度を示している。

ここに載せたデータはほんの一部であり、この他、天候の違い、時間帯の違い、

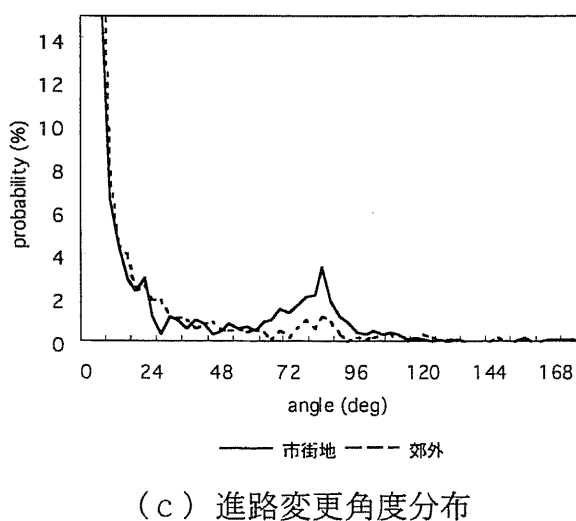
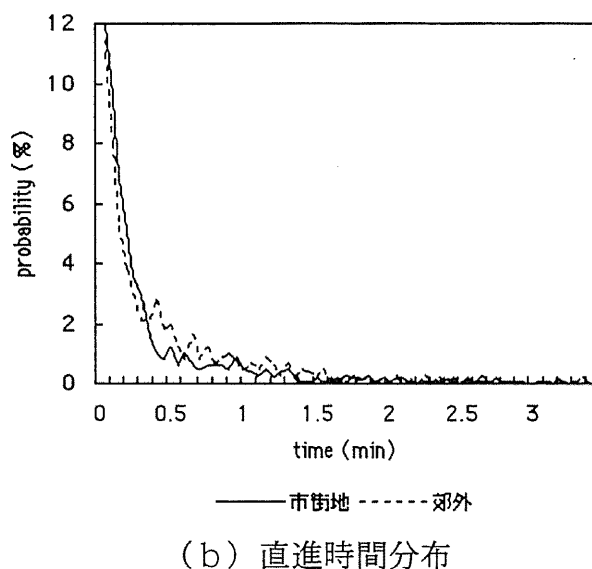
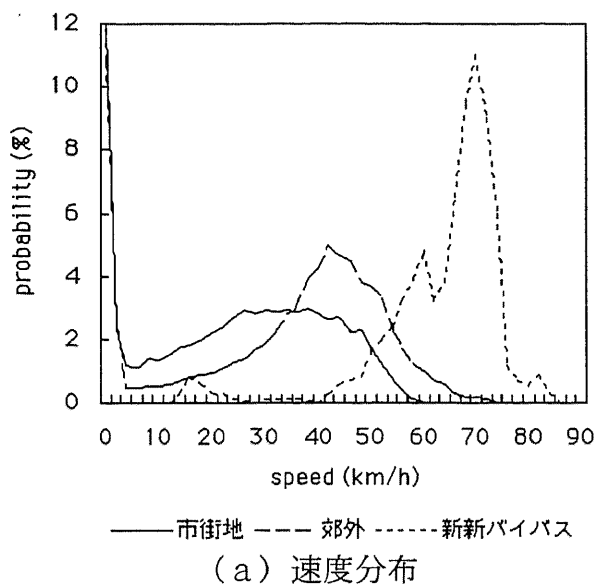


図5. 実測データ

車両の違い（トラック、バス、タクシー等）によりデータを取ることで、自動車の動きをモデル化できた。

### 3. 人の動きの測定

現在、移動体の対象が自動車から人に換わり、移動体通信（携帯電話）の普及は目覚ましいものとなった。そこで、移動通信ネットワークの設計には人の移動特性を求める必要がでてきた。

自動車の動きの測定で用いられたジャイロセンサや加速度センサでは移動速度が遅く、かつ細かな動きをする人間には向いていない。

また、PHS、GPSを用いた位置情報サービスは、すでに実用化されているが、PHSを用いた場合の精度は、PHSの受信エリアの半径に依存し、誤差は数100mあり、精度は良くない。また、GPSにより歩行者の位置を精度良く求めるためには、観測する衛星が4つ以上必要となり、建物内はもちろんのこと、ビル街や並木通り、林の中などでも、精度は不十分となる。

そこで、歩数計・方位計とGPSを組み合わせた歩行経路を推定するシステムを開発し、その検証を行ったので報告する。

#### 3-1. 実験システムの概要

この実験システムは、歩行距離の測定に歩数計を、移動方向の測定には磁気方位センサを用いる。また、GPSからの受信信号が信頼できる場合には、GPSのデータを用いて移動経路を算出する。

図6にシステムの概要を示す。

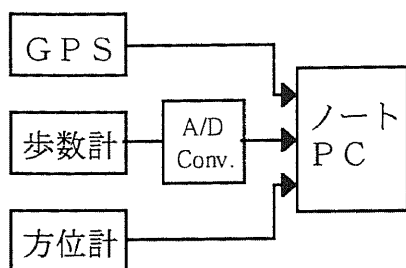


図6. システム構成図

歩数計からの信号はアナログのためA/Dコンバータを介するが、GPS、方位計の信号は、そのままシリアル、パラレルインターフェースから取り込むことができる。

### 3-2. 歩数計からのデータ

市販されている歩数計からデータを取り込む場合は、歩数計内のリードスイッチの両端からコードをのぼし、その電圧を測定する。図7に歩数計からの信号を示す。

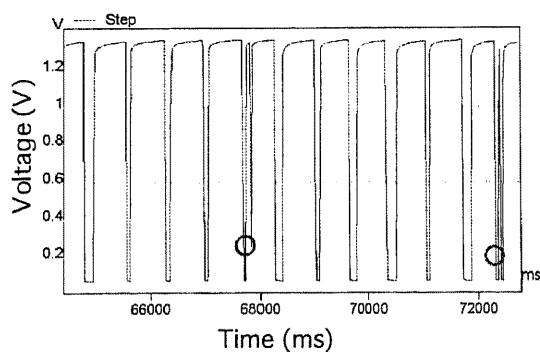


図7. 歩数計からの信号の一部

この図の○印の部分は、歩数計の振子が1歩で2度カウントしている。このような誤動作を除去するために1歩の所要時間が300ms以下の場合は歩数をカウントしないようにしている。

この図から分かるように歩数計からは歩数と1歩当たりの所要時間が得られる。

### 3-3. 歩幅の推定法

歩行データを取得することで、歩行速度と歩幅の関係が図8のような一次式で表されることが分かった。

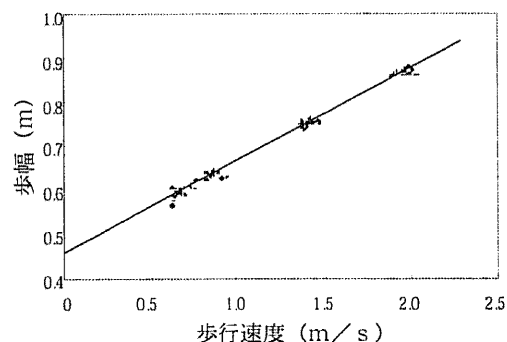


図8. 歩行速度と歩幅の関係（平坦路）

この図は、低速、中速、高速の異なる3つのスピードで、できるだけ等速に歩いたときの測定データである。この測定を複数の人について行ったが、傾きに個人差があるものの、歩幅と歩行速度の関係は $y = ax + b$ という一次式で表すことができた。

次に、歩行路に傾斜がある場合の測定結果を図9に示す。

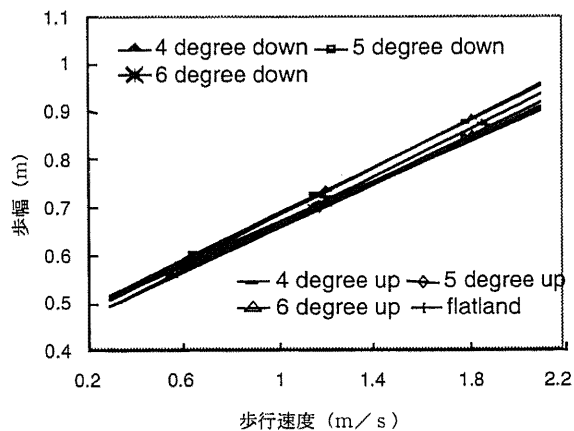


図9. 歩行速度と歩幅の関係（坂道）

この図から分かるように、歩行特性の一次式の定数  $a$ 、 $b$  は、傾斜角度、上り・下りに関わらず、ほぼ同じ値になっていることが分かった。

### 3-4. 歩行経路推定手法

前述の方法により、歩行距離の算出が可能となったが、これに磁気方位センサからの信号を組み合わせることにより、移動経路が推定できる。

図 10 に実験で用いた経路を示す。

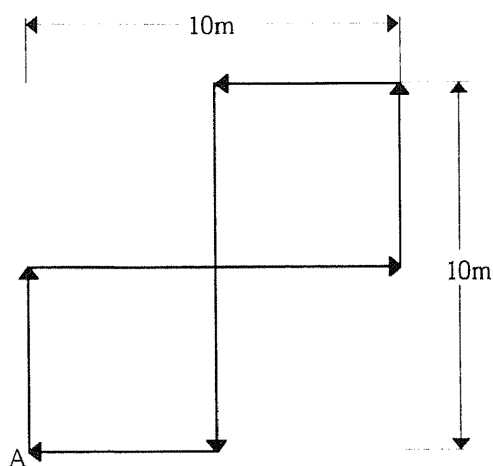


図 10. 移動経路

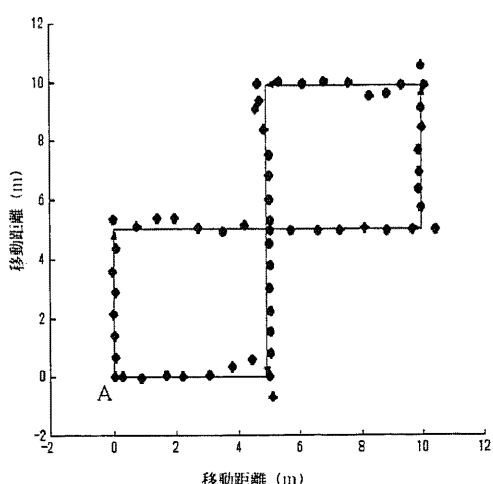


図 11. 歩行推定経路

図 10 のような 8 の字経路を歩行した場

合の歩行推定経路を図 11 に示す。直角のコーナーでは、角度センサの反応が遅れるため 1 歩分飛び出した形になっているが、ほぼ正確に移動経路を推定していることがわかる。実際の移動距離 40m に対して、推定歩行距離は 41.62m となり、距離誤差は約 1.6m (4%) であった。

#### 3-4-1. 誤差の補正方法 1

方位計を体に付けて歩行する場合、直線上を歩いても、体が左右に振れるため、そのままデータを処理するとジグザグ歩行と推定されてしまい、その結果、推定距離に誤差が生ずる。右足を踏み出したときと左足を踏み出したときは、ほぼ正反対の特性になるため、図 12 のように 2 歩を一組にして方向と距離を求めることで誤差を少なくすることができる。

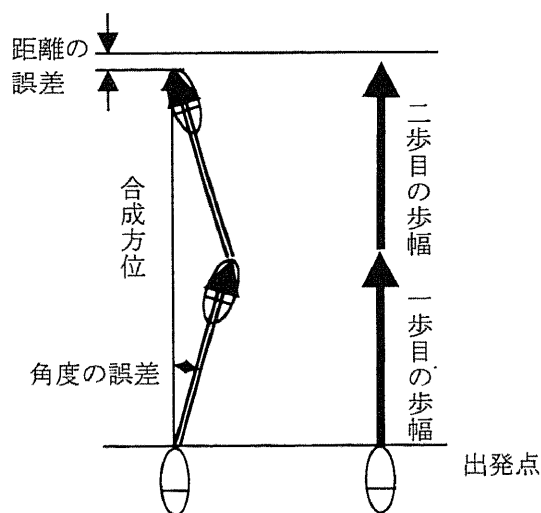


図 12. 補正方法 1

このように、2 歩分を合成して 1 歩とみなし、なおかつ、その前後の 1 歩の方向を平均することでカーブでの測定値の不安定さを無くしている。すなわち、図

1 3のように合成角度1の最終的な角度は、その前後の合成角度との平均をとる。つまり  $\theta_0$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ の合成角度  $\theta_1'$  とする。6歩分の平均を取ることになる。

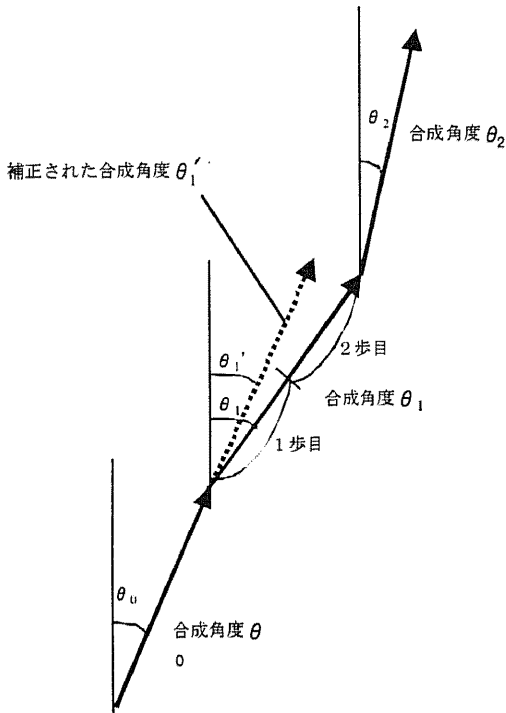


図 1 3. 6歩分の角度合成

### 3-4-2. 誤差の補正方法 2

上記の補正だけでは、歩行距離が長くなればなるほど、誤差が積み重なり、推定位置と実際の位置のずれが大きくなる。そこで、位置を座標で表し、GPSで信頼するデータが得られた地点に、歩数計・方位計で得られた最後の地点を移動させることで、推定経路の誤差を大きく減らすことができる。

図 1 4に補正なし、図 1 5に歩数合成による補正、図 1 6にGPSによる始点・終点の補正を行った結果を示す。それぞれ、Aが最初の出発点となり、A<sub>1</sub>が1周後の出発点となる。

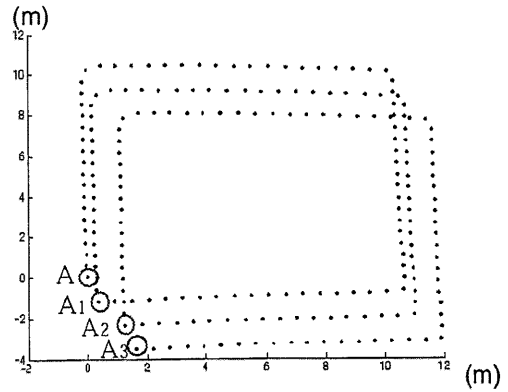


図 1 4. 補正なしの場合

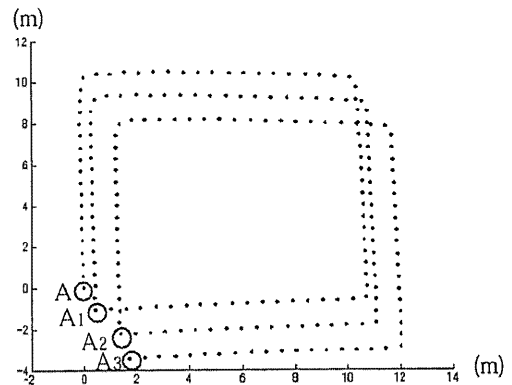


図 1 5. 歩数合成による補正をした場合

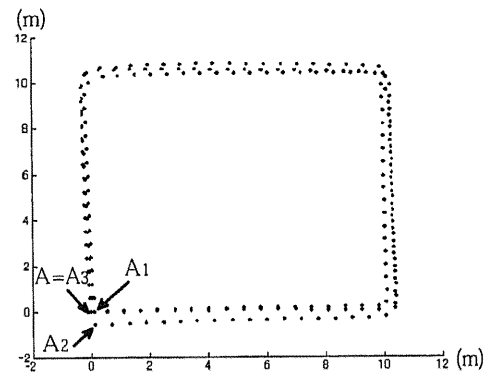


図 1 6. GPSによる始点・終点の補正

表 1. 補正の効果

	補正なし	歩数合成による補正	GPSによる始点・終点の補正
平均位置誤差(m)	0.413	0.359	0.042
最大位置誤差(m)	3.928	3.859	0.468
始点と終点の誤差(m)	3.928	3.859	0.000
距離誤差(m)	3.900	3.794	2.583

図14と図15を比較した場合、見た目には違いが分からないが、表1により誤差の減少が確認できる。図16は3周した後のA<sub>3</sub>においてGPSで現在地を確認し、A上に移動させた場合を想定している。つまりA<sub>3</sub>=Aとなっている。この図から分かるように、A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>もAに近づき、平均位置誤差、最大位置誤差は1桁ほど小さくなり、距離誤差も35%程度削減されることが分かる。

### 3-5. 実際の歩行経路推定例

まず、歩数計と方位計により、工学部内の歩行経路推定を行った。

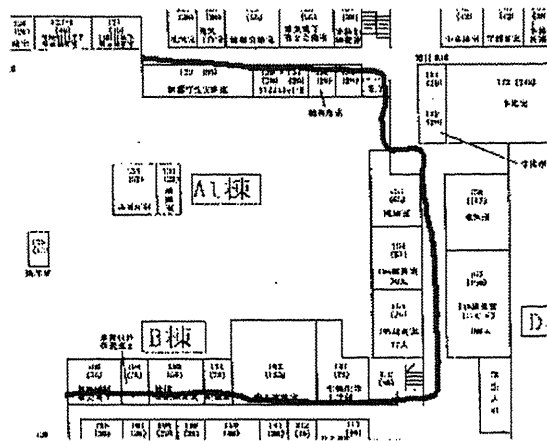
図17にA棟1階から渡り廊下を歩いてB棟の突き当たりまでの結果を示す。

(a)は全く補正を行っていないもので、(b)は前述の補正方法1を施した結果である。実際の距離149.8mに対して、推定距離は149.9mとなり、歩行経路と共に歩行距離に関しても正確に推定できた。

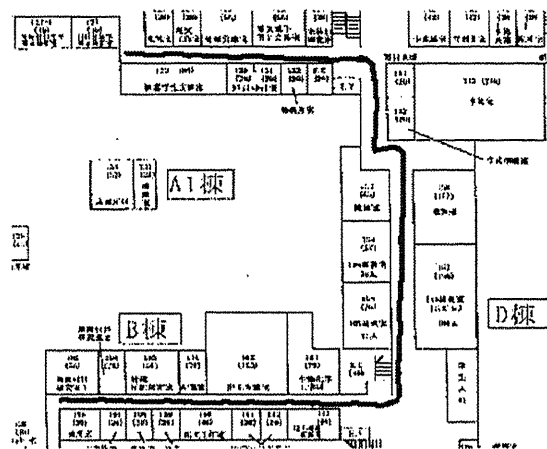
次にGPSと歩数計・方位計を組み合わせ、工学部周辺と新潟大学周辺で実験を行った。

図18はA棟1階の研究室から階段で1階に降り、正面玄関から出て学生玄関から入り、正面玄関へ戻ったときの歩行経路を推定した結果で、ほぼ正確に表示された。

図19は、新潟大学の周りを歩いた結果で、この図から分かるように外を歩いても、樹木や建物の影響でGPSからのデータが信頼できない区間も多い。



(a) 補正前



(b) 補正後

図17. 工学部内の歩行経路推定

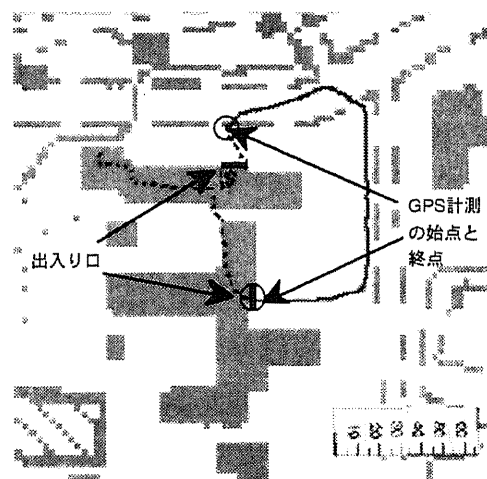
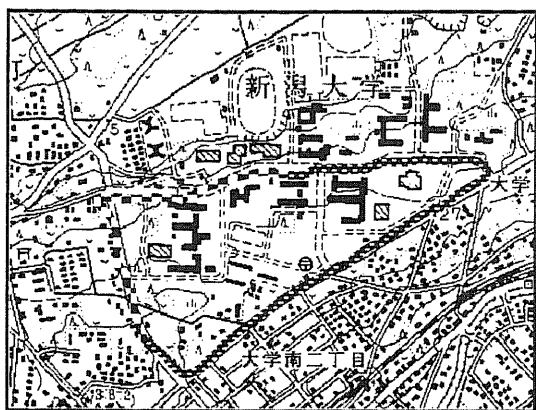


図18. 工学部周辺での歩行経路推定





 : 歩数計と3軸磁気方位センサ  
 : GPS

図19. 新潟大学周辺での歩行経路推定

ただし、歩数計と3軸磁気方位センサでの表示部分でも、所々でGPS信号の信頼できるデータも取れているので、そのときに、始点・終点の補正を行っている。

表2. 経路全体の区間数・距離・割合

	区間数	距離[m]	割合[%]
GPS	225	2260	63.8
歩数計・方位計	253	1283	36.2
経路全体	478	3543	100

表2は図13における経路全体に対してのGPS、歩数計・方位計による計測区間数、距離、割合を示す。

## 7. むすび

GPSと歩数計・方位計を組み合わせ、歩行者の歩行経路推定方法を提案した。歩数計を用いた歩行距離の算出には、1歩あたりの所要時間により歩幅を推定し、方位計と組み合わせることで、歩行経路を推定できた。また、補正を行うことで、より正確に歩行経路を推定できた。

歩行者の場合、移動速度が遅いため、GPSのみのシステムでは、GPSからの信号を受信できない場合の時間も長く、そのときには、現在位置の確認が出来なくなってしまうが、歩数計・方位計と組み合わせることにより、歩行による移動に限り、現在位置をいつでも確認できることがわかる。また、歩数計・方位計による歩行経路の誤差をGPSを用いることにより大きく削減することができた。

このシステムにより、屋内、屋外に関わらず、歩行経路の推定及び現在位置の確認が可能となった。

この研究の一部は、科学研究補助金奨励研究(B)課題番号13919047の援助により行われた。

## 参考文献

- [1] 李、間瀬、阿達、他6名、“GPS、歩数計及び方位計を用いた歩行者移動経路追跡法”、信学論(B)、Vol.J84-B, No.12, pp.2254-2263, 2001
- [2] 李、阿達、間瀬、他5名、“GPS、歩数計および方位計を用いた歩行者移動経路追跡法”、2001 信学総大、B-7-17, 2001
- [3] 大沢、李、阿達、間瀬、他2名、“人間の歩行特性に基づく歩行距離推定法の検討”、2001 信学総大、B-7-19, 2001
- [4] 李、阿達、間瀬、他5名、“歩数計及び磁気コンパスを使った位置測定”、2000 信学ソ大、B-5-52, p.340, 2000
- [5] 昭和58-59年度卒業論文