

修士論文

誤差を含む位置情報を用いた移動状況の推定に関する研究

Research on Estimating Status of Movement  
using Location Information which includes some Spacing Error

2005年1月31日提出

指導教員 中山雅哉 助教授

東京大学大学院新領域創成科学研究科

基盤情報学専攻

47-26335 杉山康平

## 目次

1 章	緒言	6
1.1	緒言	7
2 章	関連研究と本研究の位置付け	8
2.1	位置情報利用における誤差の問題	9
2.1.1	測位誤差の影響	9
2.1.2	測位系と誤差	10
2.2	関連研究と本研究の位置付け	11
2.2.1	関連研究	11
2.2.2	本研究の位置付け	11
2.3	移動状況推定の活用例	12
3 章	移動状況推定方法と評価方法	13
3.1	概要	14
3.2	移動状況の推定に関して	14
3.2.1	推定に利用する情報	14
3.2.2	速度に関する指標	14
3.3	推定に用いる指標	15
3.3.1	比較指標 H	15
3.3.2	提案指標 G	16
3.3.3	パラメータの整理(N, $\lambda$ )	17
3.4	評価方法	18
3.4.1	評価項目	18
3.4.2	評価用シミュレーション	18
3.5	GPS 位置情報精度に関する簡単な評価実験	19
3.5.1	目的と概要	19
3.5.2	実験結果	20
3.5.3	GPS の誤差について	21
3.5.4	シミュレーションでの利用	22
4 章	評価結果	23
4.1	評価の概要	24
4.2	誤差の影響の評価	24
4.2.1	評価の概要	24
4.2.2	H における誤差の影響	24
4.2.3	G における誤差の影響	29

4.2.4	比較とまとめ	33
4.3	速度変化の検出下限の評価	34
4.3.1	評価の概要	34
4.3.2	検出精度の下限値	35
4.3.3	停止状態との判定	36
4.3.4	比較とまとめ	37
4.4	中抜き処理による G の改善	39
4.4.1	概要	39
4.4.2	速度変化の検出下限	39
4.4.3	まとめ	40
5 章	実測データを用いた検証	41
5.1	概要	42
5.1.1	目的	42
5.1.2	検証に用いるデータ	42
5.2	検証結果	43
5.2.1	Slow/Fast の判定	43
5.2.2	Stay/Walk/Bicycle の判定	46
5.2.3	Car/Train に判定ついて	50
5.2.4	影響度	51
5.2.5	考察	52
6 章	結言	54
6.1	結言	55
7 章	*謝辞	56
8 章	*参考文献	58

## 図表目次

Fig. 1 測位誤差の速度・加速度への影響 .....	9
Fig. 2 N=4 の場合の H .....	16
Fig. 3 N=4 の場合の G .....	17
Fig. 4 測定点と真の位置の関係(N=4 の場合) .....	17
Fig. 5 A5407CA .....	19
Fig. 6 三角点上での測定点の分布 .....	20
Fig. 7 誤差の絶対値(r)の推移 .....	21
Fig. 8 誤差の方角( $\theta$ )の推移 .....	21
Fig. 9 $H_{err} / H_{real}(N=4)(sim5)$ .....	25
Fig. 10 $H_{err}/H_{real}(N=10)(sim5)$ .....	25
Fig. 11 $H_{err} / H_{real}$ の標準偏差(sim5) .....	26
Fig. 12 $H_{err} / H_{real}$ の標準偏差(横軸 $N \cdot t$ )(sim8) .....	26
Fig. 13 H の分布( $\lambda=1$ ) .....	27
Fig. 14 G(N=4)の による変化 .....	29
Fig. 15 G(N=10)の による変化 .....	29
Fig. 16 $G_{err} / G_{real}$ の標準偏差(sim5) .....	30
Fig. 17 $N \cdot t$ 一定の場合の $G_{err}/G_{real}$ の標準偏差(sim8) .....	31
Fig. 18 G の誤差分布 .....	32
Fig. 19 誤差の影響度の $G_{(N,\Delta t)}$ と $H_{(2,(N-1)\Delta t)}$ の比(sim5) .....	33
Fig. 20 H,G の確率分布 .....	34
Fig. 21 H における速度変化の検出下限(sim4) .....	35
Fig. 22 G における速度変化の検出下限(sim4) .....	35
Fig. 23 H のおける速度 0 と分離可能な速度下限(sim6) .....	36
Fig. 24 G のおける速度 0 と分離可能な速度下限(sim6) .....	37
Fig. 25 速度変化の検出下限の $G_{(N,\Delta t)}$ と $H_{(2,(N-1)\Delta t)}$ の比(sim17) .....	38
Fig. 26 速度 0 からの速度変化の検出下限の $G_{(N,\Delta t)}$ と $H_{(2,(N-1)\Delta t)}$ の比 .....	38
Fig. 27 中抜きした時の速度変化の検出下限の比 G/H(sim16) .....	39
Fig. 28 $H(2,180)$ の遷移 .....	43
Fig. 29 $G(10,20)$ の遷移 .....	44
Fig. 30 $H(2,100)$ の推移 .....	44
Fig. 31 $G(6,20)$ の推移 .....	45
Fig. 32 $H(2,60)$ の推移 .....	45
Fig. 33 $G(4,20)$ の推移 .....	46
Fig. 34 H .....	47
Fig. 35 .....	47

Fig. 36 $H(2,20)=G(2,20)$ の場合(check1) .....	48
Fig. 37 $H(2,60)$ の推移 .....	49
Fig. 38 $G(4,60)$ の推移 .....	49
Fig. 39 $H(2,100)$ の場合(check1) .....	50
Fig. 40 $G(5,20)$ の場合(check1) .....	50
Fig. 41 標準化した $H,G(N=14)$ .....	51
Fig. 42 標準化した $H,G(N=6)$ .....	52

## 1章 緒言

## 1.1 緒言

近年の移動体端末や移動体通信の技術進歩により,多くの人がいつでもどこでも様々なコンテンツにアクセスできるようになり,これに伴い, ”context-aware”,すなわち「利用者の状況(=context)に応じて動作を行う」アプリケーションが注目されている.

一方,移動体端末における位置情報の利用コストは現在急速に低下している.既に日本国内では市販の携帯電話で GPS 機能を搭載したものが多数販売されており,さらに総務省は緊急通報における発信者位置情報通知の推進<sup>[1]</sup>により,2011年には15m程度の誤差での位置情報取得機能を携帯電話で90%の普及を目指すという.また,アメリカでの FCC,Enhanced911 勧告<sup>[2]</sup>というものが存在し,同様の状況にある.

我々は,このような背景から,近年利用価値の高まっている「位置情報を用いた context-aware アプリケーション」に注目し,その中で context として,情報サービスやコミュニケーションサービス等に幅広い応用が考えられる「利用者の広域での移動状況」に着目した.ここでいう「移動状況」とは,現在,移動中であるか否か,移動時であればその移動手段,を表すものである.すなわち,位置情報から移動状況の推定を試みるのである.

しかし,位置情報の利用には測位誤差の問題が不可避である.例えば GPS 測位系では,その誤差は平均 10m 程度と言われており,このような誤差の存在が,状況推定の障害になっている例は少なくない.誤差の影響度は,誤差の絶対的な大きさや移動体の状況によって変化するが,その関係性に関してはほとんど明らかにされてこなかった.本研究では,そのような位置情報利用における誤差の影響の性質を明らかにするとともに,その影響を少なくするような移動状況推定のための新たな提案を行い,GPS 測位データを用いてその検証を行っていく.

## 2章 関連研究と本研究の位置付け

## 2.1 位置情報利用における誤差の問題

本研究の対象とする位置情報からの移動状況推定には、まず位置情報の測位誤差の問題が不可避である。まずこの問題について概説した後、関連研究としてこの問題に対して取り組んでいる他の研究の例を挙げる。そして、それらの取り組みとは異なるアプローチでこの問題に取り組む本研究の位置付けを述べる。

### 2.1.1 測位誤差の影響

測位誤差はあらゆる測定において不可避なものであるが、広域での位置情報となると、全体のスケールが大きいため、誤差のオーダーも比較的大きいものとなり、よく知られている GPS では 10m 程度と言われている。誤差の分だけ、真の位置から測定される位置がずれる、逆に測定された点からは、推定される誤差の分だけずれたどこかが真の位置であると考えなければならないという問題が当然存在するわけであるが、さらに、位置情報を 1 次情報として捉え、そこから速度・加速度といった情報を計算しようとする場合にはその影響はより大きなものとなる。

例えば、Fig. 1 において、中央の矢印が 10m/s で 10[sec]の移動を表し、その端点で最大 10m の誤差が生じると仮定しよう。その時、102 点の測定による平均速度は、8 ~ 12m/s の幅で算出される可能性がある。同様に、10sec で 5m/s から 10m/s へ加速する場合、 $1 \sim 9\text{m/s}^2$  の幅で算出される可能性がある。



Fig. 1 測位誤差の速度・加速度への影響

このように、誤差がある位置情報を用いた場合、そこから計算される速度や加速度といった副次的な情報は、誤差の影響を受け実際の値から非常に大きくずれることになる。そのため、広域での位置情報を用いて速度や加速度を計算し利用する方法には、誤差の影響はとても無視できるようなものではなくなってしまうのである。

## 2.1.2 測位系と誤差

ここで、現在一般的に利用可能な広域での位置情報取得技術について簡単に触れておく。

まず、地球規模での位置情報取得技術には、GPS(Global Positioning System)に代表される、衛星からの信号を利用した測位方法が用いられている。この方式を用いるものには、GPS 以外にも、ロシアの GLONASS や EU の GALILEO がある。GPS は、衛星からの信号の時間差によって測距するシステムであり、その精度は現在のところ約 10m である。また、GPS の精度を上げる技術として、DGPS(Differential GPS)、RTK-GPS(Real Time Kinematic GPS)等がある。DGPS は、位置が正確にわかっている基準局からの信号の差を利用して補正を施し、RTK-GPS は、測位に搬送波の位相を利用することで高精度での測位を可能とする技術である。これらの技術は、既に商用サービスとして存在しているため、測量などでは既に利用されている。

また、近年急速に普及した携帯電話を基地局からの情報によってエリアを特定するという方法も現在用いられており、携帯電話端末・PHS 端末等で位置情報を取得することができる。また、この方法と先の GPS を利用した方法を併用する方法<sup>1)</sup>も開発され実用化されている。

Table 1 に、各測位方式とその測位誤差の平均を示す。

方式	精度 (平均)
携帯基地局	1[km]
PHS 基地局	200[m]
GPS	~ 10 [m]
DGPS	4.5~6 [m]
RTK-GPS	2.5 [cm]

## 2.2 関連研究と本研究の位置付け

### 2.2.1 関連研究

移動状況推定における測位誤差の問題を直接的に扱ったものは少ないが、一例として Asakura et al.<sup>[3]</sup>は、都市内における PHS ,GPS ,enhanced GPS の精度の比較と、徒歩、鉄道、自動車（高速道路走行時）、自動車（一般道路走行時）の各移動状況におけるの位置情報の収集・分析を行い、収集デバイスの特性を整理している。しかし、このような研究の中では、誤差による移動状況推定の可能性についての詳細な言及をするには至っていない。

また、位置情報以外の情報を併用することで、移動状況の推定を行おうという試みも見られる。これらの研究では、なんらかのデバイスを用いることで、特定の移動状況を明らかにすることに成功している。田名部ら<sup>[3]</sup>は、加速度センサーを用いて、徒歩/自転車/自動車/バス/鉄道を識別している。このような研究は、位置情報からだけでは得られないような情報を用いることで推定の精度を向上させているが、一方で新しいデバイスを必要としてしまうという問題がある。

これらの既存研究の中では、特定の目的に対しての特定の状況についての誤差の評価を行っており、今まで、一般的に誤差の影響度を明らかにするという試みはほとんどなされてこなかったとすることができる。

### 2.2.2 本研究の位置付け

本研究では、今まで明らかにされてこなかった、移動状況推定における誤差の一般的な影響について明らかにする。それにより、ある目的に対しそのような状況推定が可能であるのかどうか、可能であるとすればどのようなパラメータを用いるべきであるかを示すことが可能となる。

また、位置情報から計算される指標自体について、より誤差の影響の少ない指標を提案する。この指標を用いることで、通常用いられる平均速度等よりも誤差の影響度が軽減され、結果としてより多くの状況・目的において移動状況推定が可能になる。

位置情報は今後ますます利用可能性が拡大するため、位置情報のみからの移動状況

推定の可能性を明らかにし,またその可能な範囲を拡大する新指標を提案することで,移動状況を用いる context-aware アプリケーションの発展に寄与することが,本研究の狙いである.

## 2.3 移動状況推定の活用例

ここで,移動状況の推定を活用できると考えられるアプリケーションを挙げてみたい.

### 1. 移動状況に合わせた通信手段選択

利用したい通信手段は移動状況に応じて変化する場合が多い.移動状況が分かっている状態では,例えば,車を運転している時は通話の着信はしない,電車に乗っているときはメールのみを可能とする,といった制御を端末側またはネットワーク制御側で設定することが可能になる.また,2004年の道路交通法改正<sup>[1]</sup>においては運転中の携帯電話の操作に罰則が科せられたことにも見られるように,運転中の通信操作による危険性への注目も高まっているが,本例のようなシステムを構築することで,安全性を高めることにも貢献できるのではないだろうか.

### 2. 地図情報表示サービス

既に広く利用されている電子的な地図情報サービスでは,地図の縮尺や表示する情報の種類を任意に選択できる機能がある場合が多い.これらの選択は,「車・ドライブ」といった目的別に選択できるものもあり,ある移動状況に適した表示のセットがあると考えてよいだろう.このようなサービスにおいて,利用者の現在の移動状況を取得し,デフォルトの設定として移動状況に合わせた情報セットを提供することができれば,より利便性の高いシステムを構築することが可能である.

### 3. 交通行動調査での利用

田名部ら<sup>[3]</sup>も述べているように,交通行動調査において交通手段を特定することは重要な要素である.その際,被験者の申告によらず自動的に移動の状況を把握することができれば,被験者の負担が軽くすることができる.

### 3章 移動状況推定方法と評価方法

## 3.1 概要

本章では,位置情報のみを用いた移動状況の推定について,その推定のための指標とその評価方法について述べる.また,評価時のシミュレーションでテストデータとして用いる予定の GPS 測位について,実際の測位データを用いて簡単な評価を行う.

## 3.2 移動状況の推定に関して

### 3.2.1 推定に利用する情報

本研究の主旨から,測定に用いる 1 次的な情報としては位置情報とその取得時間のみを用いることにする.また,context-aware アプリケーションへの利用を前提として考えると,状況推定は後処理ではなく,リアルタイムに行われるべきである.よって,本推定に用いる情報は,現在から過去一定時間中のデータのみを使用するものとする.

### 3.2.2 速度に関する指標

通常移動状況の推定に用いる指標としては,

- ✓ 移動体の速度
- ✓ 移動体の経路情報

を用いる.しかし,後者は位置情報に GIS 情報を併せて用いることで初めて移動状況推定が可能になるものであるため,ここでは対象としないことにする.

よって,本研究では移動体の速度に注目することとするが,ところで,移動体の速度や加速度は,移動体の位置から計算される指標であるが,誤差の含まれる測位においては得られるものは「(誤差を含む)測定された位置」に過ぎない.よってその「測定された位置」を「真の位置」とみなして「真の速度」を単純に計算した情報というのは,2.1.1 で述べたように実際の速度に対して誤差の影響で大きくずれが生じることとなる.このことを前提に,「測定された位置」から「真の速度」を推定するための指標についての提案と,評価を行っていく.

### 3.3 推定に用いる指標

これまでの流れを踏まえ,実際に推定に用いる指標として,通常よく用いられる形の比較指標 H と,本研究での提案指標である G について述べる.

#### 3.3.1 比較指標 H

ある連続した N 点において,

$\vec{X}$ : 測位位置の位置ベクトル

$\vec{x}$ : 真の位置の位置ベクトル

$\vec{e}$ : 誤差ベクトル

とおくとき,各 i 番目のベクトルに関して,Eq. 1 に示す関係が成り立つ.

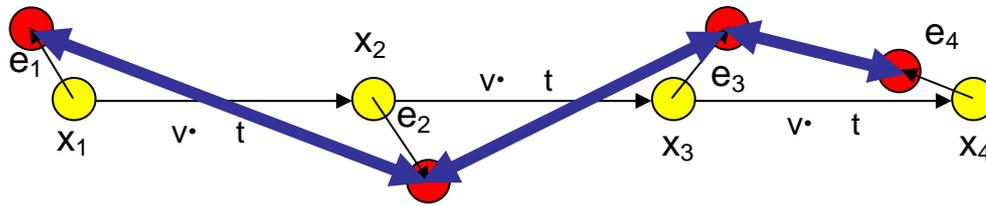
$$\vec{X}_i = \vec{x}_i + \vec{e}_i \quad \text{Eq. 1}$$

そこで,次の指標 H を考える.

$$H_{(N,\Delta t)} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \left( \left| \vec{X}_{i+1} - \vec{X}_i \right| \right)}{(N-1) \Delta t} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \left( \left| (\vec{x}_{i+1} + \vec{e}_{i+1}) - (\vec{x}_i + \vec{e}_i) \right| \right)}{(N-1) \Delta t} \quad \text{Eq. 2}$$

H は,N=2 では判定開始時刻と判定終了時刻の測定位置からの平均速度を計算したものの同等である.また,Nを増加させることで,判定開始時刻と判定終了時刻の間での複数の分割された区間において,個々に平均速度を算出し,その平均速度を全体での平均速度とする方式である.N=4 の時の H を図形的に考えると,Fig. 2 において黄色い点を真の位置,赤い点を測定位置としたときに矢印の長さの合計が式の分子にあたる.

N=4の場合



H: の長さの和 / (N · t)

Fig. 2 N=4 の場合の H

### 3.3.2 提案指標 G

次に,提案指標である G を定義したいが,まず各測定点の移動重心にあたる点を

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{X}_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x}_i + \bar{e}_i)}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i + \sum_{i=1}^N \bar{e}_i}{N} \quad \text{Eq. 3}$$

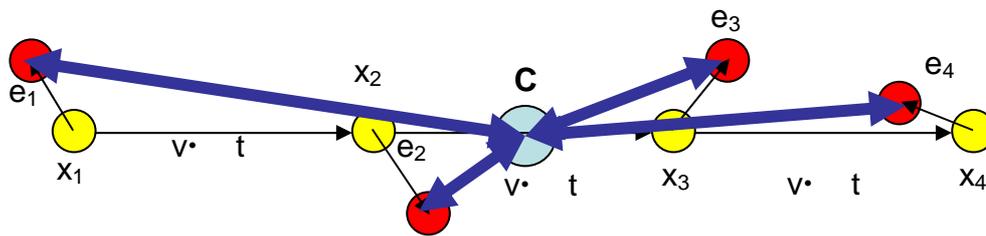
と定義する.N は G の算出に用いる測定点の点数であり, t は各測定点間の測定間隔である.

ここで,各測定点から上で定義した C までの距離の平均となる量 G を定義する.

$$G_{(N,\Delta t)} = \frac{\sum (\bar{X} - \bar{C})}{N \cdot \Delta t} = \frac{\sum (\bar{x} + \bar{e} - (\sum \bar{x} + \sum \bar{e})/N)}{N \cdot \Delta t} \quad \text{Eq. 4}$$

この指標は,誤差のランダム性を逆手にとり,誤差ベクトルを足し合わせることで誤差を収束させて,その影響を小さく抑えることを狙いとした指標である.N=4の時のGを図形的に考えると,Fig. 3 において黄色い点を真の位置,赤い点を測定位置としたときに矢印の長さの合計が式の分子にあたる.

N=4の場合



G:  $\longleftrightarrow$  の長さの和 /  $(N \cdot t)$

Fig. 3 N=4 の場合の G

### 3.3.3 パラメータの整理(N, )

G,H の値を決める要素としては,  $N, t$  [s],  $v$  [m/s],  $e$  があるが, Fig. 4 を参考に考えると, G,H の値は  $v \cdot t$  と  $|e|$  の比が一定であれば幾何的に相似な関係となることがわかる.

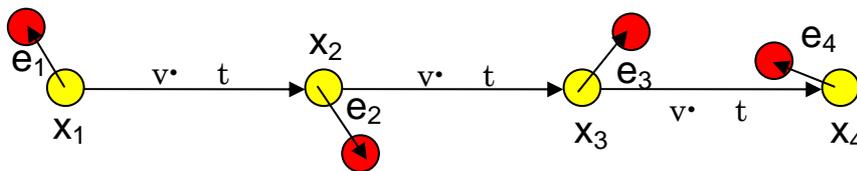


Fig. 4 測定点と真の位置の関係(N=4 の場合)

そこで, 以下のように無次元数 を定義する.

$$\tilde{e} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N |\tilde{e}_i|}{N} \quad \text{Eq. 5}$$

$$= \frac{|v_i| \cdot \Delta t}{\tilde{e}} \quad \text{Eq. 6}$$

$N,$  が等しい場合, 図における幾何的な関係性は相似となることから, G,H における真値と誤差を含んだ値の関係性は  $N$  と によって一般的に記述することができる.

## 3.4 評価方法

### 3.4.1 評価項目

指標について評価すべきは、測位の段階で生じる誤差が速度を推定する際にもたらす影響である。よって、H,G の指標が誤差を全く含まない場合と一定の誤差を含む場合でどの程度値に影響があるかを示し、また実際の移動体の速度変化に対し、どの程度の判別が可能かどうかを明らかにする。

評価のパラメータとしては、主に  $N$  を用いる。 $N$  による変化は指標において本質的な計算方法の際になるため、必ず必要である。また、 $\sigma$  を用いることで誤差の大きさ・移動体の速度・測位間隔といった可変要素を一つのパラメータで一般化して示すことができるため、この 2 つを用いて一般的に指標の特性について表すことができる。

### 3.4.2 評価用シミュレーション

指標の特性を一般的に評価するために、 $N$  と  $\sigma$  をパラメータとして、実際の移動と測位を模したシミュレーションを行う。

まず、移動としては次のような移動を想定する。なお、この位置は「真の位置」であって、この位置において、誤差を含む測定が行われる。

- ✓ 等速直線運動をする
- ✓ 真っ直ぐ北に向かう(経度変化 0)

そして、このような移動の最中に  $t[s]$  毎に  $N$  回の測位を行なうものとする。そして、各測位時には、GPS 測位を模した誤差データを付加することで、実際に移動をしながら誤差を含む測位を行ったのと同様の状況を作る。各パラメータを変化させながら多くの状況について指標を計算し、その特性を評価する。

この際の、GPS 測位を模した誤差データについては、次に述べる。

## 3.5 GPS 位置情報精度に関する簡単な評価実験

### 3.5.1 目的と概要

3.4.2 でのシミュレーションに用いる誤差データとして,実際に GPS 単独測位を行ったデータを用いることにする.そのモデルケースとして,現時点で最も普及していると考えられ,本研究での評価実験にも用いる AU 携帯電話による GPS 測位を用いた簡単な測位実験を行い,シミュレーションに用いるデータを取得するとともに,その評価を行う.

実験方法としては,真の位置がわかっている場所で GPS による測位を行い,測定点と真の位置とのずれを検証する.

測定には,KDDI 社の携帯電話サービスである AU の端末から,CASIO 社製の A5407CA(Fig. 5)という端末を利用した.本端末では,Qualcomm 社製のチップである「gpsOne<sup>[6]</sup>」を利用している.gpsOne では,GPS 衛星の補足が十分でない場合に,携帯電話の基地局情報を併用して測位することができるが,本研究の中では,全て GPS 衛星からの情報のみで計算した位置情報を用いている.ここで,測位やデータの処理に関しては,携帯電話上で動作する Java アプリケーションである EZ アプリ<sup>[TM][7]</sup>を用いている.ただし,gpsOne を扱うための方法は公開されていないため,今回は KDDI 株式会社の協力を受け,API を提供していただいた.



Fig. 5 A5407CA

今回の測定は,三等三角点(北緯  $35^{\circ}47'32''.1530$ ,東経  $139^{\circ}55'0''.7199$ )上において,Table 2 に示す測位間隔で一定時間の連続測位を行った.

Table 2 測位間隔と測定点数

測位間隔	10[sec]
測定点数	86点

### 3.5.2 実験結果

実験で得られた個々の測定点について,真の位置に対してのずれを示したものが Fig. 6 である.ここで,図の上下方向が緯度方向(上が北),左右方向が東西方向(右が東)を示している.

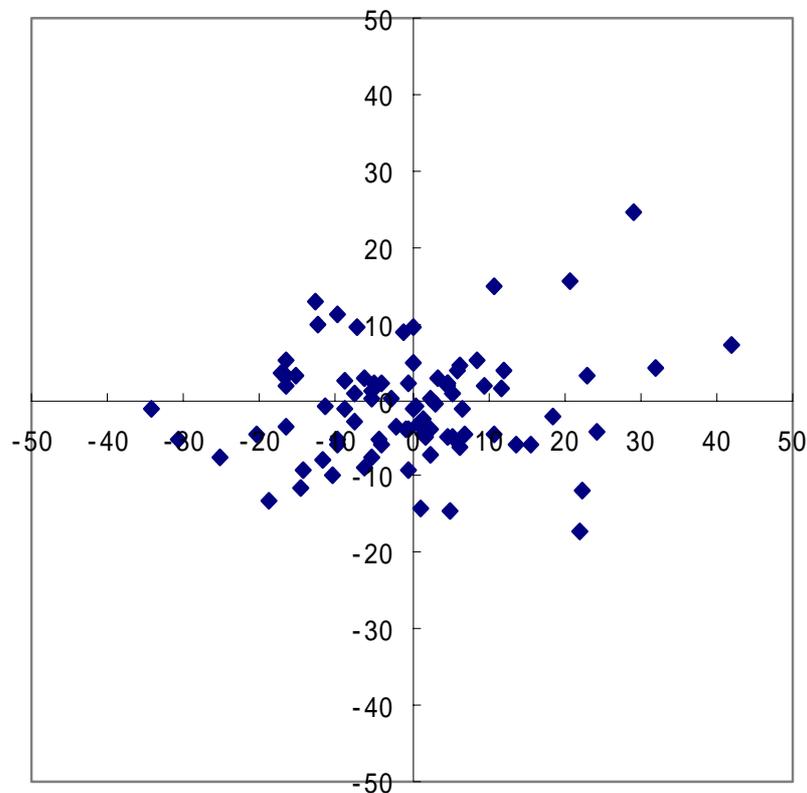


Fig. 6 三角点上での測定点の分布

傾向として,緯度方向の誤差の方が経度方向の誤差よりも小さい値がでていることが読み取れる.これによって,少なくとも緯度方向と経度方向については,区別して考える必要があると言える.

次に,誤差の絶対値,もしくは誤差の出現する方角について,なんらかの周期性が見ら

れないかを検証するために,真値からの各測定点の位置を( $r, \theta$ )の極座標で表示し,各成分を横軸を時間  $t$  とし 10[sec]毎に時間軸に沿ってグラフ化したものが Fig. 7 Fig. 8 である.

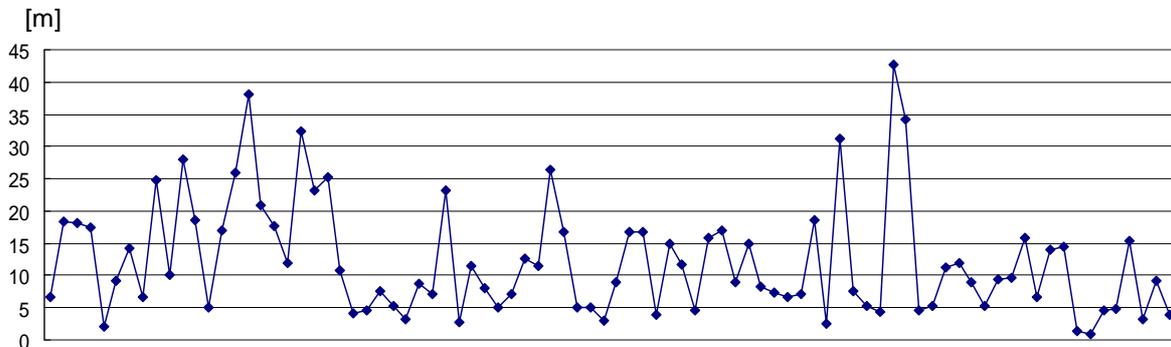


Fig. 7 誤差の絶対値( $r$ )の推移

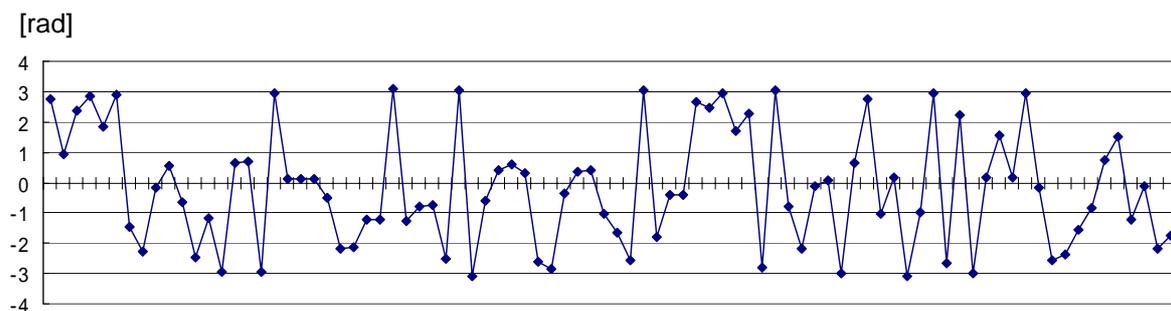


Fig. 8 誤差の方角( $\theta$ )の推移

これらに FFT 解析を用いたところ,明確な周期性は認められなかったため,そのような周期性もないと考えて用いることとする.

### 3.5.3 GPS の誤差について

ここでは,GPS 測位の誤差についてごく簡単な解析しか行っていないが,実際には GPS の誤差には多くの条件が影響してくることが知られている.しかしながら,それら全てを考慮することは非常に複雑であることと,それらの影響は今回の測定データに大きく変化をもたらすものではないこと,また今回は測定の主旨があくまでシミュレーション用のデータとしての代表的な誤差のデータの取得にあることを鑑み,GPS 測位の詳細の誤差については専門の研究に譲るものとし,ここでは簡単な分析にとどめておくこととした.

#### 3.5.4 シミュレーションでの利用

今回取得したデータには,時間による明確な周期性は見られないことから,シミュレーションにおいては,取得されたデータからランダムに 1 点を抽出し,そのデータが持つ真の位置からのずれと同じだけの誤差をシミュレーション上で付加するものとして利用する.

## 4章 評価結果

## 4.1 評価の概要

ここでは,推定に用いる指標について,どのような条件下でどのような影響があるのか,また,実際の移動体の移動状態をどの程度判定できるのか,を明らかにするとともに,提案指標である G の優位性を示していく.

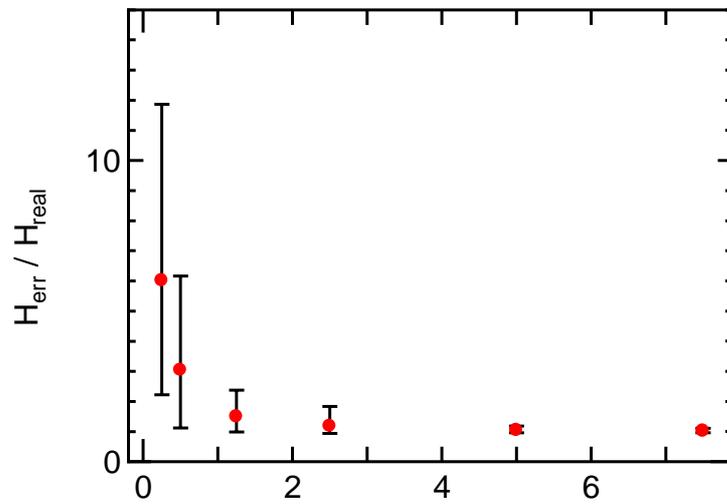
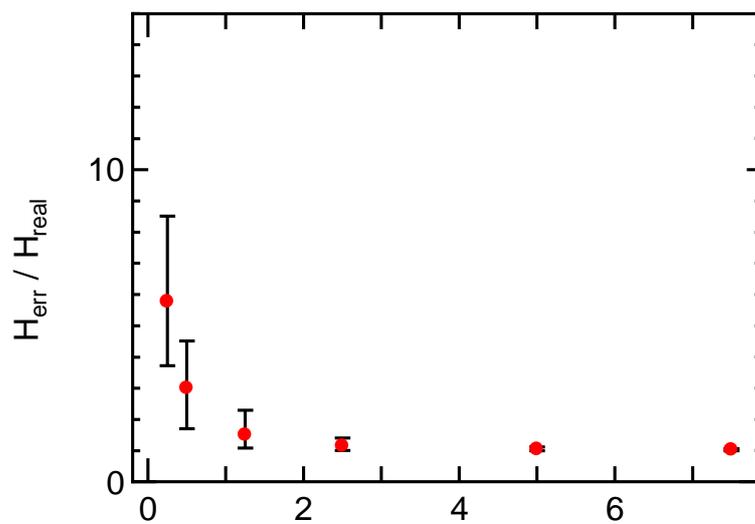
## 4.2 誤差の影響の評価

### 4.2.1 評価の概要

ここでは,各指標における測位誤差の影響を明らかにするため,誤差が全く生じない場合の各指標の値と,誤差を含んだ状態での値を比較し,その特性を掴むことを目的とする.

### 4.2.2 H における誤差の影響

まず,3.4 のシミュレーションにおいて,通常(誤差を含むかたちで)計算される値を  $H_{err}$ ,誤差を 0 として計算した場合の値を  $H_{real}$  として, $H_{err}/H_{real}$  の値を計算した.代表的して  $N=4,10$  の場合について Fig. 9, Fig. 10 に示す.

Fig. 9  $H_{err} / H_{real}$ (N=4)Fig. 10  $H_{err} / H_{real}$ (N=10)

この値は、 $\epsilon$ が大きくなると急速に1に漸近する。すなわち、 $\epsilon$ が大きい状況においては誤差の影響は小さく、逆に  $\epsilon$ が小さい領域においては誤差の影響は非常に大きいということがわかる。ここで、誤差の影響を示す値としては、 $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差を考えるのが適当であるため、 $N$  を変化させて  $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差を描いたものを Fig. 11 に示す。

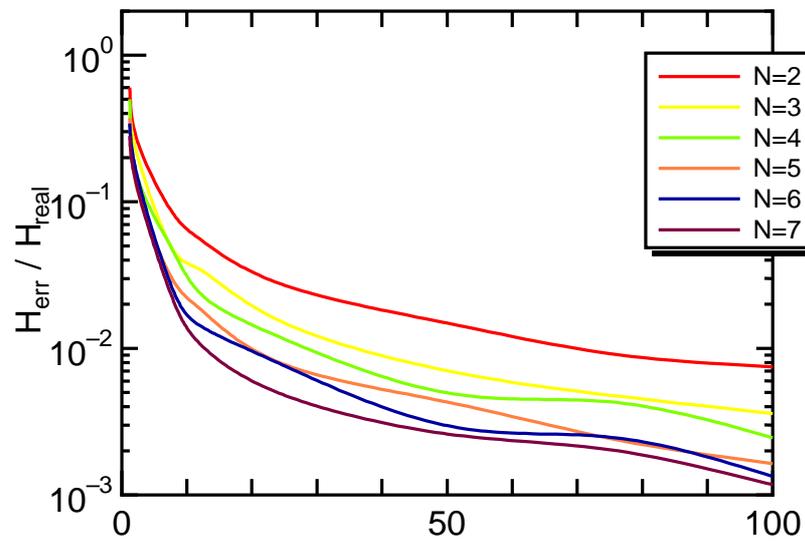


Fig. 11  $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差

これより,  $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差, すなわち  $H$  における誤差の影響度合いは,

1.  $N$  が大きくなると減少する
2.  $t$  が大きくなると減少する

という傾向にあることがわかる.

次に, 横軸を  $N \cdot t$  として,  $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差を描いたものを Fig. 12 に示す.

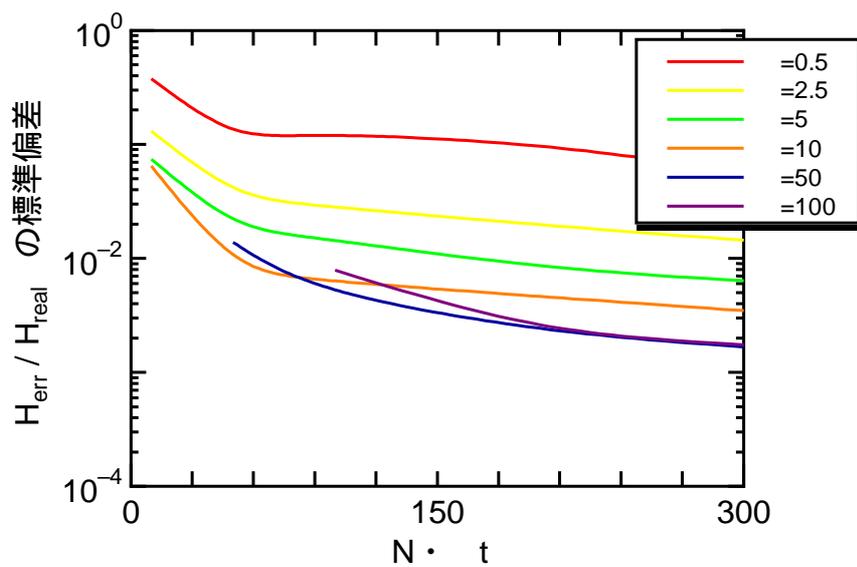


Fig. 12  $H_{err} / H_{real}$  の標準偏差(横軸  $N \cdot t$ )

これより,ある  $N \cdot t$  を考えた場合,  $\sigma$  が大きい(=  $t$  が大きい),すなわち  $N$  が小さい方が誤差の影響が小さいということがわかる.つまり,どのような  $N$  や  $t$  を考えても,そのときの  $H(N, t)$  に対して,その間の測定点の端点 2 点のみを利用した  $H(2, (N-1) \cdot t)$  を用いた方が誤差の影響が少ないということになる.

ところで, $H$  の誤差による分布は Fig. 13 に示すようになる.

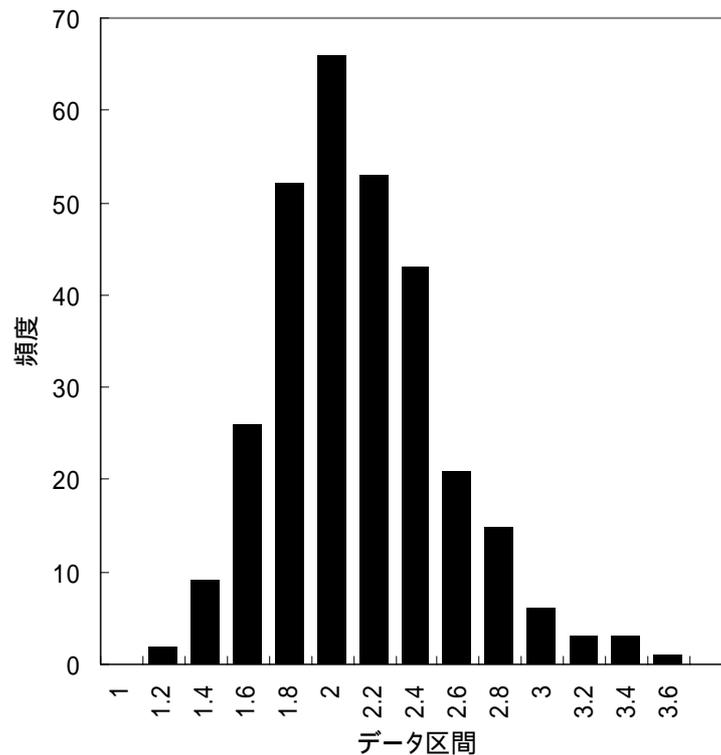


Fig. 13  $H$  の分布(  $\sigma = 1$  )

この時の分布の特性を Table 3 に示す.

Table 3  $H$  の分布の特性

移動速度	1[m/s]
移動方向	北
試行回数	300
平均	2.029
標準偏差 ( )	0.402
平均 ± 内の度数割合	71%
平均 ± 2 内の度数割合	95%
平均 ± 3 内の度数割合	99%

### 4.2.3 G における誤差の影響

Hと同様に,3.4のシミュレーションにおいて,通常(誤差を含むかたちで)計算される値を  $G_{err}$ ,誤差を 0 として計算した場合の値を  $G_{real}$  として, $G_{err}/G_{real}$  の値を計算した.N=4,10 の場合について Fig. 14, Fig. 15 に示す.

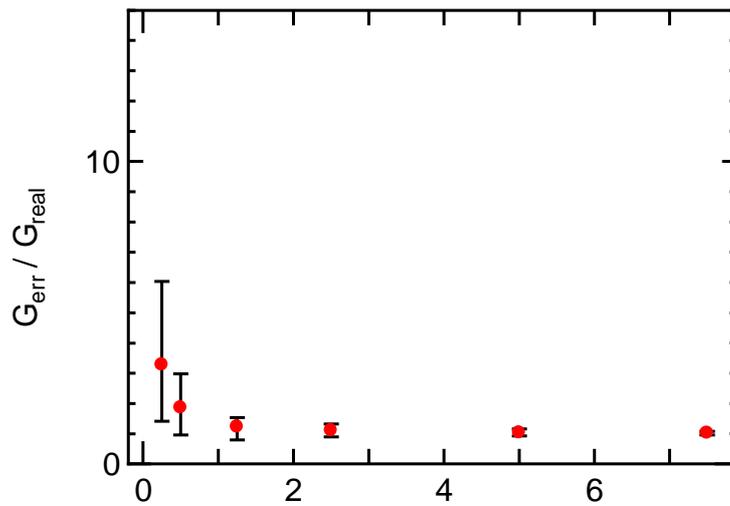


Fig. 14 G(N=4)の による変化

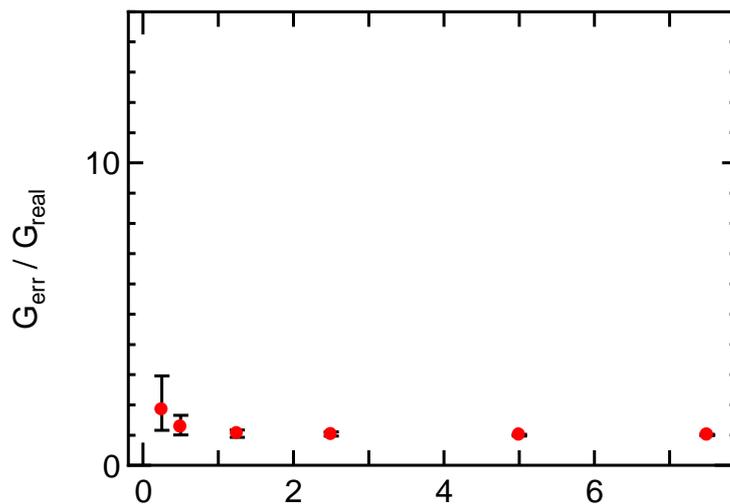


Fig. 15 G(N=10)の による変化

この値は、 $G$ が大きくなると急速に1に漸近する。すなわち、 $G$ が小さい領域においては、誤差の影響は非常に大きいということがわかる。ここでも  $H$  と同様、 $N$  を変化させて  $G_{err}/G_{real}$  の標準偏差を描いたものを Fig. 16 Fig. 11 に示す。

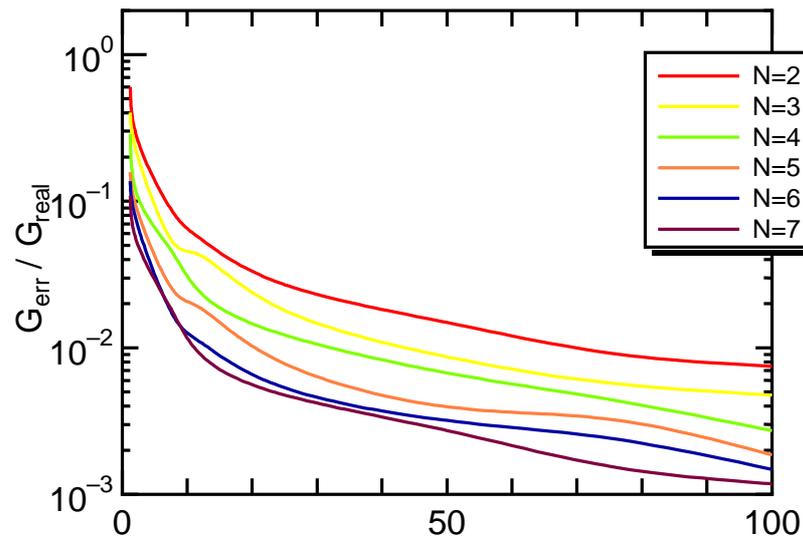


Fig. 16  $G_{err} / G_{real}$  の標準偏差

これより、 $G_{err}/G_{real}$  の標準偏差、すなわち  $G$  における誤差の影響度合いは、 $H$  と同様に、

1.  $N$  が大きくなると減少する
2.  $G$  が大きくなると減少する

という傾向にあることがわかる。

では次に、横軸を  $N \cdot t$  として、 $G_{err}/G_{real}$  の標準偏差を描いたものを Fig. 17 に示す。

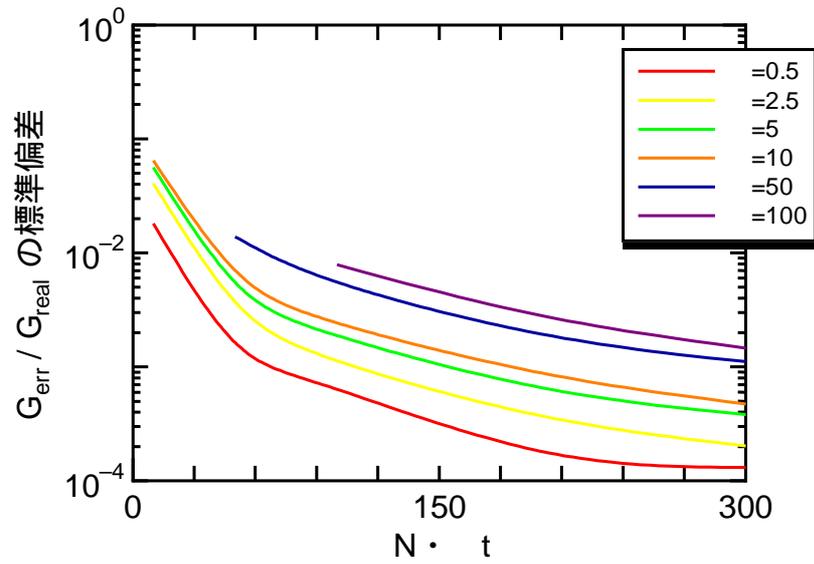


Fig. 17  $N \cdot t$ 一定の場合の  $G_{\text{err}}/G_{\text{real}}$  の標準偏差

これより,ある  $N \cdot t$  を考えた場合,  $t$  が小さい( $t$  が小さい),すなわち  $N$  が大きい方が誤差の影響が小さいということがわかる.つまり,なるべく  $t$  を小さくして  $N$  を大きくする方が誤差の影響を小さくすることができるのである.

ところで, $G$  の誤差による分布は Fig. 18 に示すようになる.

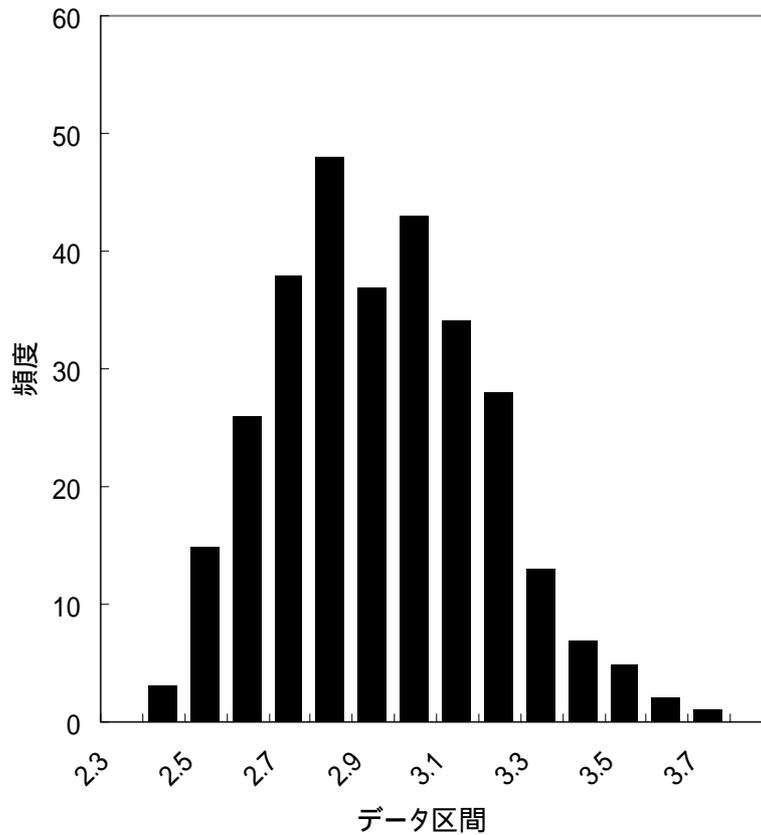


Fig. 18 G の誤差分布

この時の分布の特性を Table 4 に示す.

Table 4 G の分布の特性

移動速度	1[m/s]
移動方向	北
試行回数	300
平均	2.872
標準偏差 ( )	0.247
平均 ± 内の度数割合	67%
平均 ± 2 内の度数割合	96%
平均 ± 3 内の度数割合	99%

#### 4.2.4 比較とまとめ

ここで,提案指標である  $G$  が  $H$  に対して優位性を持っているのかを検証する.しかし,4.2.2 で明らかにしたように, $H_{(N, t)}$ よりも  $H_{(2,(N-1) t)}$ が常によりよい値を示すために, $G$ の優位性を主張するには, $G_{(N, t)}$ と  $H_{(2,(N-1) t)}$ の比較を行うのが適当である.そこで,誤差の影響度について, $G_{(N, t)}$ の  $H_{(2,(N-1) t)}$ に対する比を Fig. 19 に示す.なお, $N=2$ の場合, $H$ と  $G$ は全く同じものを計算することになるため,常に1となる.

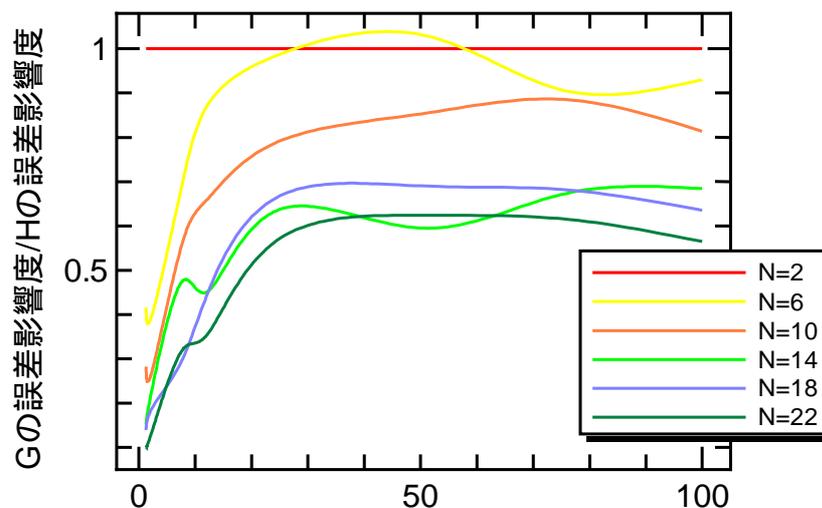


Fig. 19 誤差の影響度の  $G_{(N, t)}$ と  $H_{(2,(N-1) t)}$ の比

$N=6$ では,  $t$ により一部  $G$ の方が大きくなっている. $N$ が10以上の場合にははっきりと1を下回り  $G$ の方が誤差の影響度が少ないことがわかる.

ここまでの結果をまとめると,誤差の及ぼす指標への影響は,

1.  $N$ が大きいほど小さい
2.  $t$ が大きいほど小さい
3.  $H$ では, $H_{(N, t)}$ よりも  $H_{(2,(N-1) t)}$ を用いる方が小さい
4.  $G$ では, $N \cdot t$ 一定では, $N$ が大きい方が小さい
5.  $N$ がある程度大きい場合, $G$ を用いる方が小さい

ということが言える.

## 4.3 速度変化の検出下限の評価

### 4.3.1 評価の概要

ここでは,4.2 で明らかになった H,G の特性を踏まえ,各指標が対象の速度変化を検出できる下限値を明らかにする.

ここで, $e, t$  は同じまま移動速度  $v$ [m/s]が  $v$ [m/s]だけ増加した場合を考える.  
すなわち,

$$\lambda_0 = \frac{v \cdot \Delta t}{\tilde{e}} \quad , \quad \lambda_1 = \frac{(v + \Delta v) \cdot \Delta t}{\tilde{e}}$$

として  $\lambda_0$  から  $\lambda_1$  に状態が変化した場合である.

この場合,各  $\lambda$  における H,G は Fig. 20 に示すように真値に対して確率的に分布する.

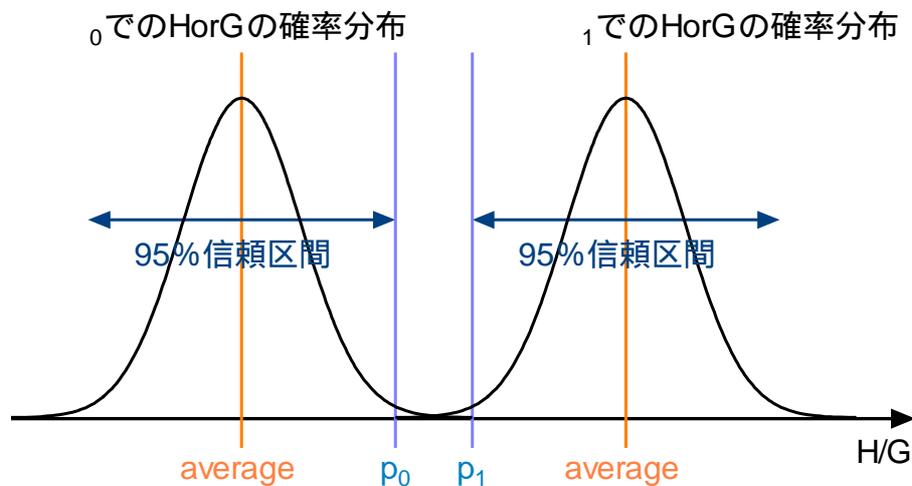


Fig. 20 H,G の確率分布

ここで,  $\lambda_0$  の分布の 95%信頼区間中で最大の値( $p_0$ )と  $\lambda_1$  での最小の値( $p_1$ )において,

$$p_0 \leq p_1 \quad \text{Eq. 7}$$

が成立すれば,  $\lambda_0$  と  $\lambda_1$  は当該誤差を含んだ測定においても分離可能であると考えられる.

以下,このような分離が可能となる  $v$  の下限値を計算していくが,上記の 95%信頼区間は,Table 3 および Table 4 よりおよそ平均  $\pm 2$  の範囲であるため,その範囲で考えることにする.

また,この検出の下限値である  $v$  は,元の  $v$  によって異なるが,  $v/v$  と比にすることで, $v$  の絶対的な値ではなく,  $v_0$  と  $N$  によって決定される量となり, $N$  と  $v_0$  によって一般的に示される.

#### 4.3.2 検出精度の下限値

H,G それぞれについて,速度変化の検出下限値を Fig. 21, Fig. 22 に示す.

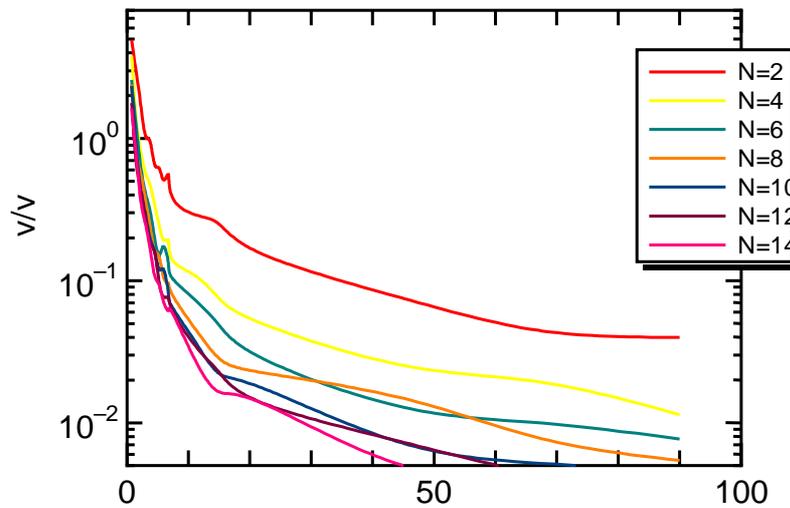


Fig. 21 H における速度変化の検出下限

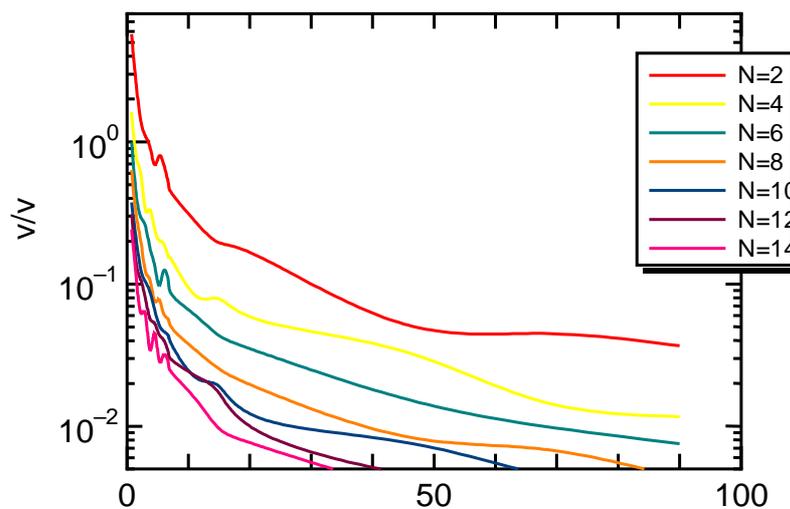


Fig. 22 G における速度変化の検出下限

これより,速度変化の検出の下限値は,

1.  $N$  が大きくなると減少する
2.  $\sigma$  が大きくなると減少する

という特性をもつことがわかる.これは,4.2 で明らかにした  $H, G$  における誤差の影響度の特性と同様の傾向を示す.

#### 4.3.3 停止状態との判定

ところで,Stayの場合は速度が0なので,4.3.2での  $v/v$  による評価方法は適さない.そこで,速度0に対し分離可能である速度を求めるため, $v=0$  とした時の分離可能な  $v$ [m/s]の下限値を計算し,Fig. 23, Fig. 24 に示す.

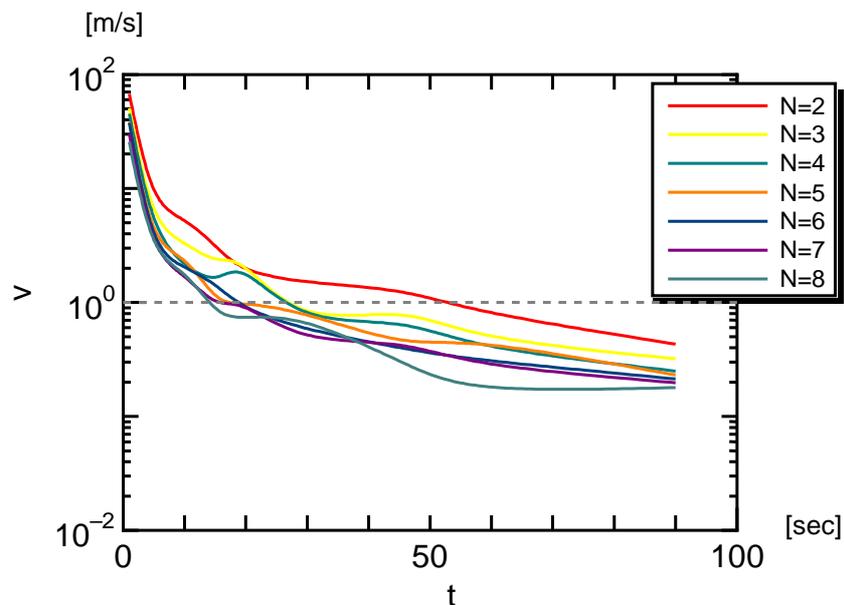


Fig. 23 H における速度 0 と分離可能な速度下限

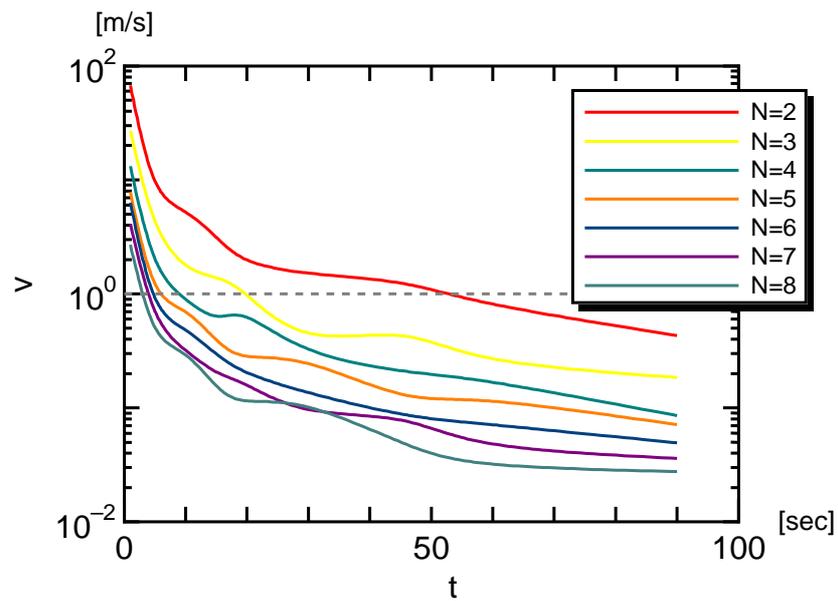


Fig. 24 G のおける速度 0 と分離可能な速度下限

こちらも同様に

1.  $N$  が大きくなると減少する
2.  $t$  が大きくなると減少する

という傾向にある。

#### 4.3.4 比較とまとめ

ここで,提案指標である  $G$  が  $H$  に対して優位性を持っているのかを検証する.ここでも, $G(N, t)$ の  $H(2,(N-1) t)$ に対する比を計算すると,Fig. 25 となる.

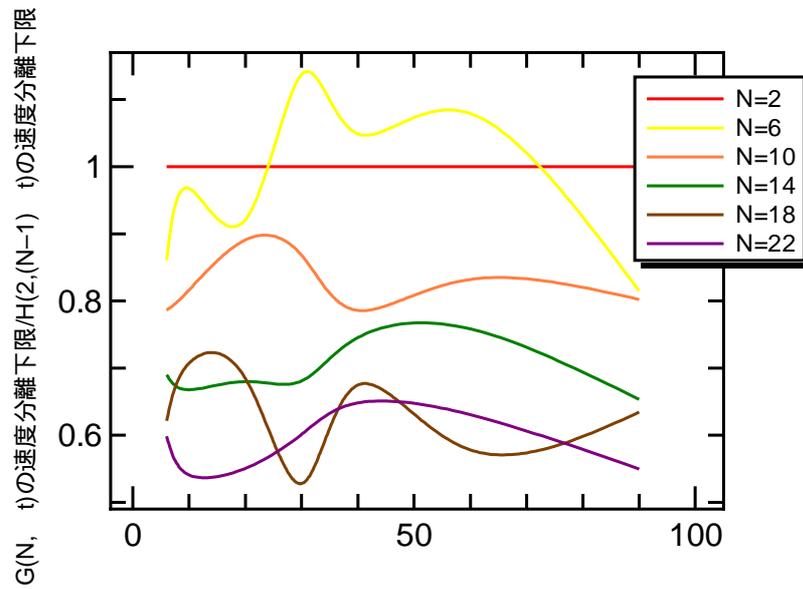


Fig. 25 速度変化の検出下限の  $G(N, t)$  と  $H(2, (N-1) t)$  の比

また停止状態からの判定についても同様の計算を行い,結果を Fig. 26 に示す.

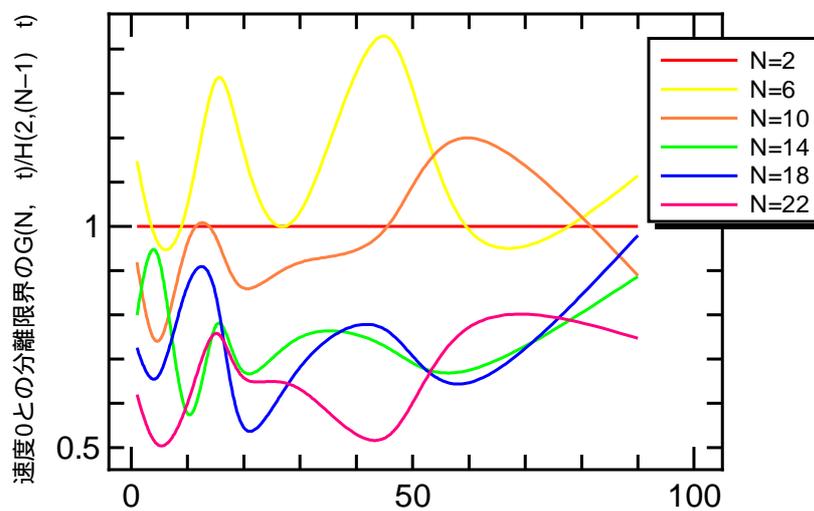


Fig. 26 速度0からの速度変化の検出下限の  $G(N, t)$  と  $H(2, (N-1) t)$  の比

ここまでの結果をまとめると,誤差の及ぼす指標への影響は,

1.  $N$  が大きいほど小さい
2.  $t$  が大きいほど小さい
3.  $H$  では,  $H(N, t)$  よりも  $H(2, (N-1) t)$  を用いる方が小さい

4.  $G$  では,  $N \cdot t$  一定では,  $N$  が大きい方が小さい
  5.  $N$  が一定値以上では,  $G$  を用いる方が小さい
- ということが言える.

これは, 4.2 での誤差の影響度と同じ傾向の結果である.

## 4.4 中抜き処理による $G$ の改善

### 4.4.1 概要

今までの評価は測定点全てを利用した場合だったが,  $G$  は誤差の影響を大きく受けるのは,  $C$  に近い点であることから, この付近の点を利用しないことで精度があがることが予想できる. そこで,  $C$  に最も近い点から,  $N$  が偶数の場合は 2 点, 奇数の場合は 3 点を計算から除外した指標  $G'$  を考え, 今までと同様の計算により速度変化の検出下限の  $H$  との比を計算してみることにする.

### 4.4.2 速度変化の検出下限

中抜き処理によって速度変化の検出下限は Fig. 27 に示されるようになる.

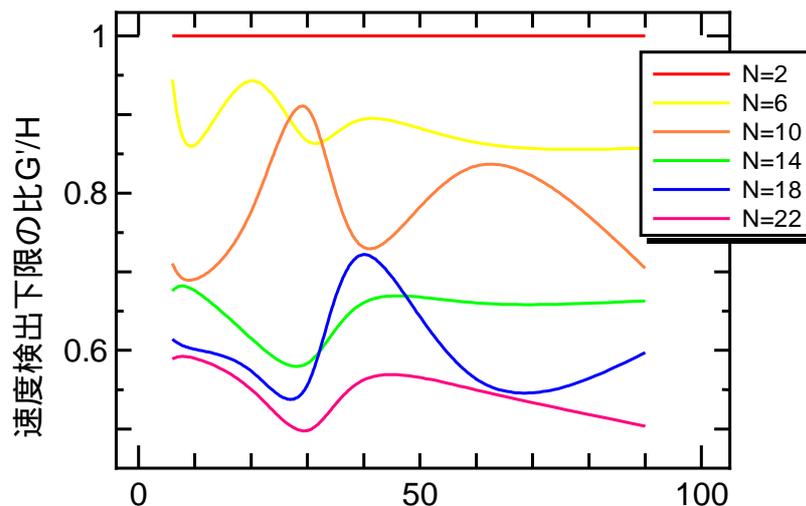


Fig. 27 中抜きした時の速度変化の検出下限の比  $G'/H$

#### 4.4.3 まとめ

中抜き処理を行わない  $G$  の場合に比べ、若干の値の低下すなわち精度の向上が見られる。このように、中抜き処理によって  $G$  の改善の可能性を示すことができた。しかし、中抜きの具体的な方法については、試行錯誤でいろいろなパターンを行ってみたが、 $N$  に対してどのような抜き方が最も誤差の影響を減らすことができるかについての知見を得るには至らなかった。

## 5章 実測データを用いた検証

## 5.1 概要

### 5.1.1 目的

4章のシミュレーション結果の妥当性と、実際の移動と測位において各指標がどのような挙動を示すのかを検証するため、実際に AU 携帯端末を用いて移動と測位を行い、そこから H,G の算出を行う。

### 5.1.2 検証に用いるデータ

検証用のデータとして、Table 5 に示す 5 種類の移動状況を想定した移動を行い、それぞれの移動の間に 20[sec]毎に測位を行った。

他にも考えられる移動状況として、航空機/船舶も考えられたが、多くの利用者にとって発生頻度が低い状況と思われるため対象としなかった。

Table 5 検証用のデータ取得状況

区分	移動状況	取得状況
Slow	Stay	市街地の交差点付近で停止
	Walk	市街地で街路(直線)を通常の歩行速度(約 1[m/s])で移動
	Bicycle	市街地で街路(直線)を自転車で約 3[m/s]で移動
Fast	Car	道路の流れに沿って自動車で行く場合。主に千葉県松戸市近辺での一般道を走行。
	Train	電車に乗っての移動中。具体的には JR 常磐線の松戸駅付近を利用。

こうして取得した 20[sec]毎の連続した位置情報について、現在から(N-1) t 秒までの N 点のデータを用いて、H,G を計算する。この計算を 20 秒ごとに行い、縦軸に G/H の値を、横軸に経過時間[sec]をとり、H,G の推移を示すことで、実際に H,G がどのような値をとり、どのような N, ( t)で判定可能であるかを検証する。

ここで,Hでは $H(N, t)$ よりも $H(2,(N-1) t)$ が誤差の影響度が少ないことを考慮し,Hの計算は全て $H(2,(N-1) t)$ を利用することにした.

## 5.2 検証結果

### 5.2.1 Slow/Fast の判定

ここで,5種類全てについてある一定区間でのH,Gの遷移を以下に示していくが,まずSlowとFastの分離に注目していきたい.

N=10の場合について,Fig. 28, Fig. 29に示す.

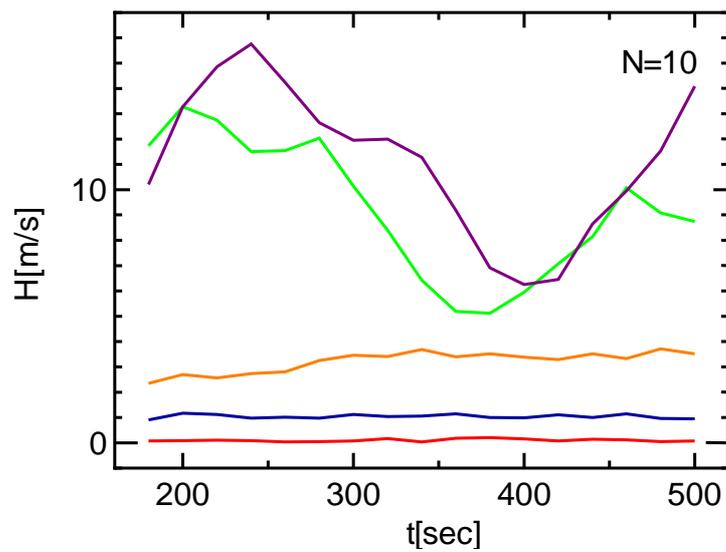


Fig. 28 H(2,180)の遷移

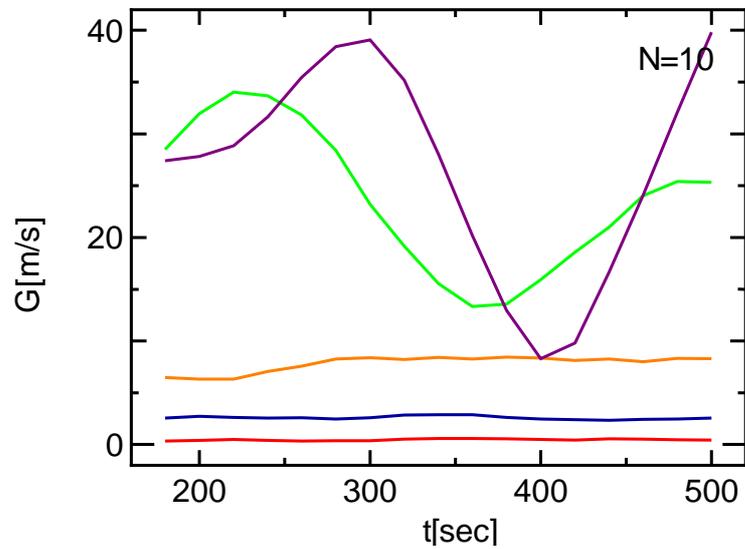


Fig. 29 G(10,20)の遷移

Train は 350[sec]付近で駅にやや長い時間停車しており,そこで大きく値が落ちているが,その他の領域では Slow と Fast では値が重なることなく適当な閾値を用いることで容易に分離することが可能である.

次に,N=6 の場合について,Fig. 30, Fig. 31 に示す.

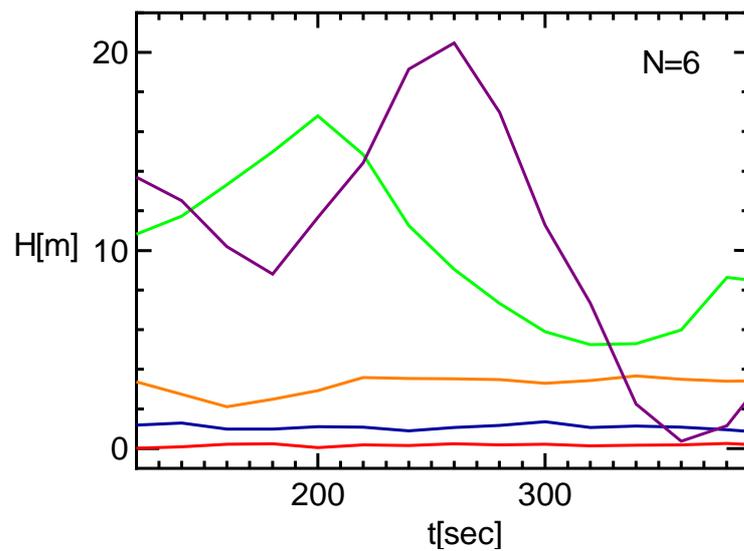


Fig. 30 H(2,100)の推移

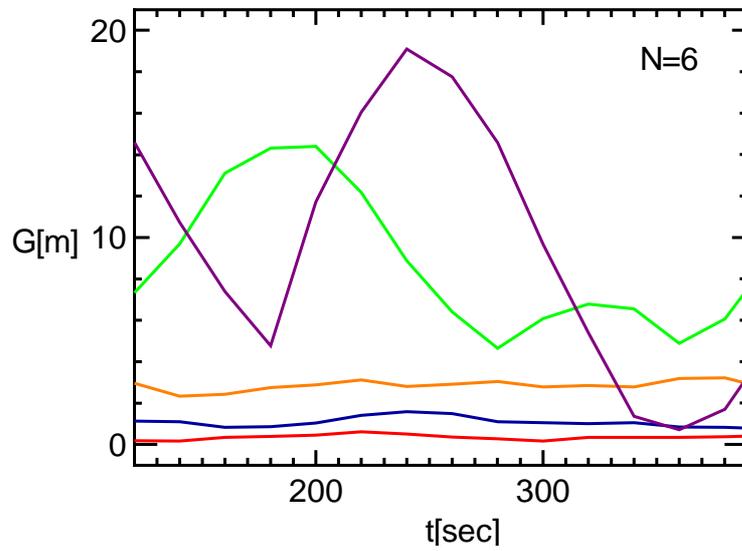


Fig. 31 G(6,20)の推移

この場合には,Train の 350[sec]付近での停車の影響はより明確になり,また 150[sec]付近での短い時間の駅での停車による影響も見ることができるようになる.

次に,N=4 の場合について,

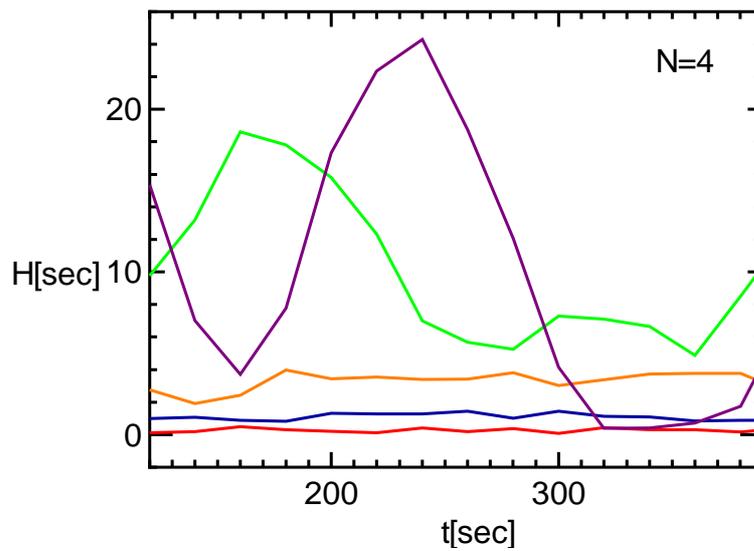


Fig. 32H(2,60)の推移

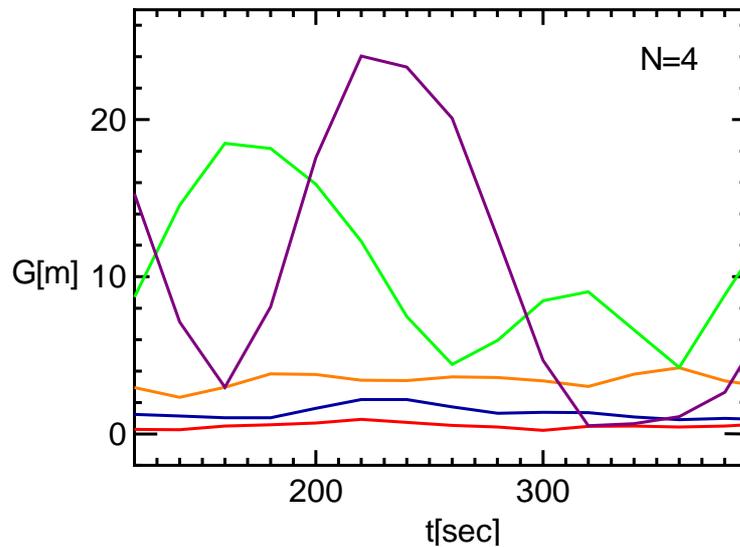


Fig. 33 G(4,20)の推移

この場合には,Train の停車の影響とともに,Car における信号待ち時の短時間停車の影響も値に現れてくる.また,Car の短時間停車の場合には,値が Bicycle と重なってることがわかる.

いずれの場合にせよ,Fast で停車中でない場合については,どのような  $N$  を用いても明確に分離できる.また,停車中をどう判定するかについては,運用上どのように分離したいかという問題と,駅や信号の停車時間はばらつきが非常に大きいため一般的なことは言えないが,ここでの結果を参考にしながら閾値を考えていくことが可能であると思われる.

### 5.2.2 Stay/Walk/Bicycle の判定

さて,次に Slow に区分されている Stay,Walk,Bicycle について考えてみたい.これらについては,データ取得の段階で意図してほぼ等速度で直線的な移動を行っている.すなわちシミュレーションに近い形での測位となっている.そのため,分離可能性を実際のデータから見ることで,先のシミュレーションの妥当性について考えることができる.

まず,Stay/Walk の判別については,4.3.3 に示す速度 0 との分離下限がこれにあたる.Fig. 23, Fig. 24 から判断すると,  $t=20$  でこの判定が可能となるのは, $N$  が 4 または

5程度であることが予想される。

また, Walk/Bicycle の判別は  $\approx 1.62$  の場合に該当するが, Fig. 21, Fig. 22 からはわかりにくいので,  $\approx 1.62$  付近を拡大したものを Fig. 34, Fig. 35 に示す。

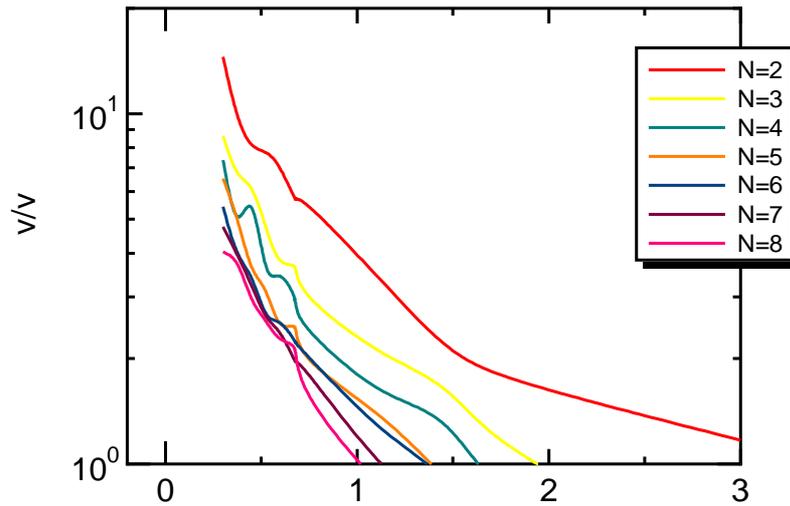


Fig. 34 H の速度分離限界

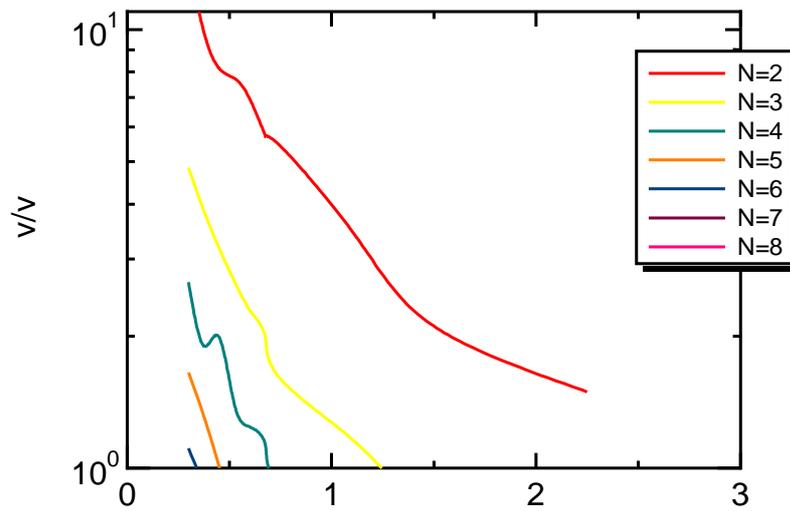


Fig. 35 G の速度分離限界

これより, この場合の Walk/Bicycle の判定には, H, G とともに  $N=2$  で検出可能かどうか

のボーダーライン程度と予想されている.実際には線上では本当にぎりぎりの判定になってしまうため,実際には3以上であることが予想される.

ここで,まず  $N=2$  の場合を Fig. 36 に示す.

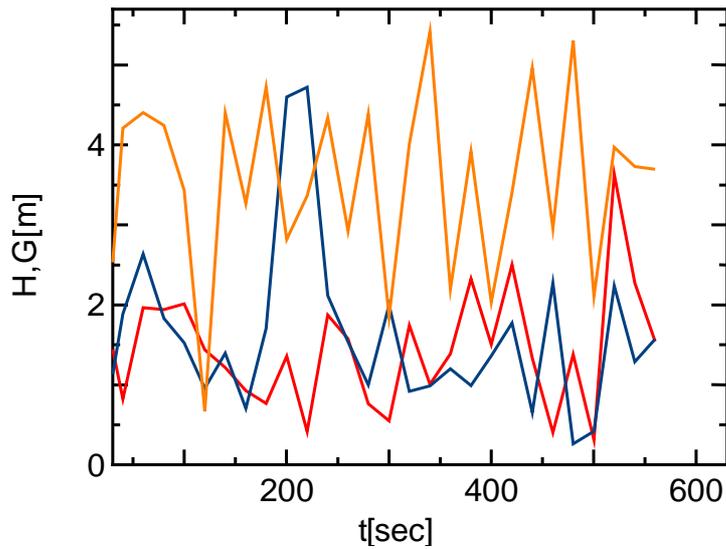
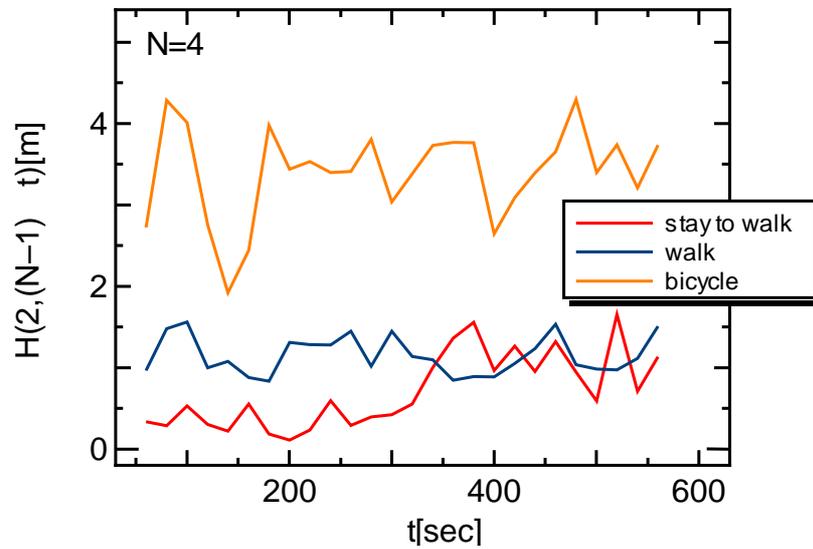
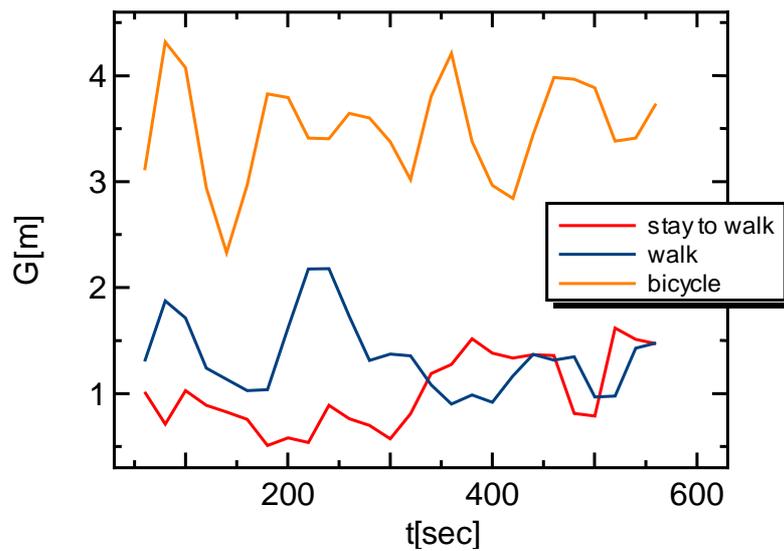


Fig. 36  $H(2,20)=G(2,20)$ の場合

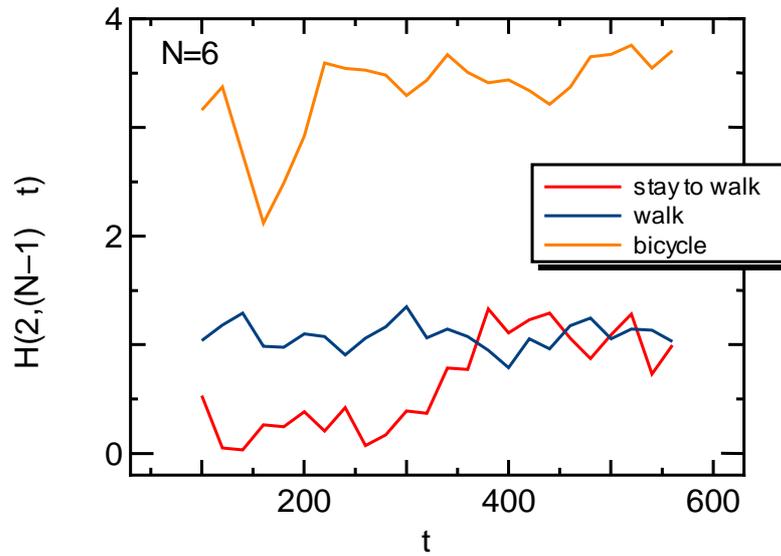
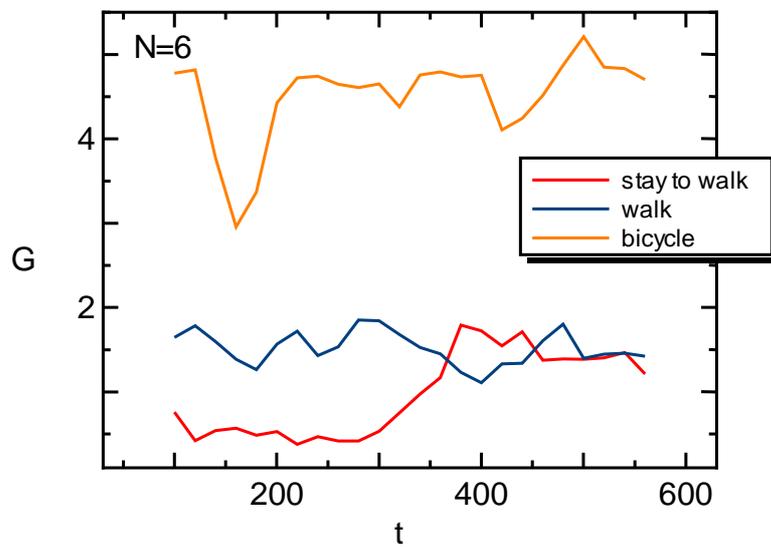
ここでは,Stay/Walk はもちろんのこと,Walk/Bicycle の分離も難しいと言える.

次に, $N=4$  の場合を Fig. 37, Fig. 38 に示す.

Fig. 37  $H(2,60)$ の推移Fig. 38  $G(4,60)$ の推移

ここで,Walk/Bicycle は分離可能かどうか微妙なところであるが,ここでの Bicycle は 120[sec]付近で進行方向を 90 度変えており,そのため急に低い値が出ている.しかし,その他の区間ではおよそ分離するに十分な値の差があると考えられる. また,Stay/Walk については,まだ分離するのは厳しい状況である.

次に,N=6 の場合を Fig. 39, Fig. 40 に示す.

Fig. 39  $H(2,100)$ の場合(check1)Fig. 40  $G(5,20)$ の場合(check1)

ここでは,Stay/Walk も十分に分離可能な値の開きを見せていると言える.

### 5.2.3 Car/Train に判定ついて

“Fast”,すなわち Car/Train であると判定された場合の判定については,速度域が重な

っているため速度からは判定が困難であろうと考えられる。また、路線や道路などによつての差異が大きいため、位置情報のみに基づく指標のみでは一般的に分離するのは困難であると考えられる。よつて本研究では、この Car/Train 判定については言及しないこととする。

#### 5.2.4 影響度

今回のデータでは、 $t$  が 20[sec] と大きいこともあり、分離の段階で H と G の明確な際を見ることはできなかつた。しかしながら、値そのものに詳細な変動を見ると、G の方が誤差の影響による値の揺らぎが少ないことがわかる。

Fig. 41, Fig. 42 は、ある区間での Walk のデータをその区間の平均値を 1 として標準化したものである。

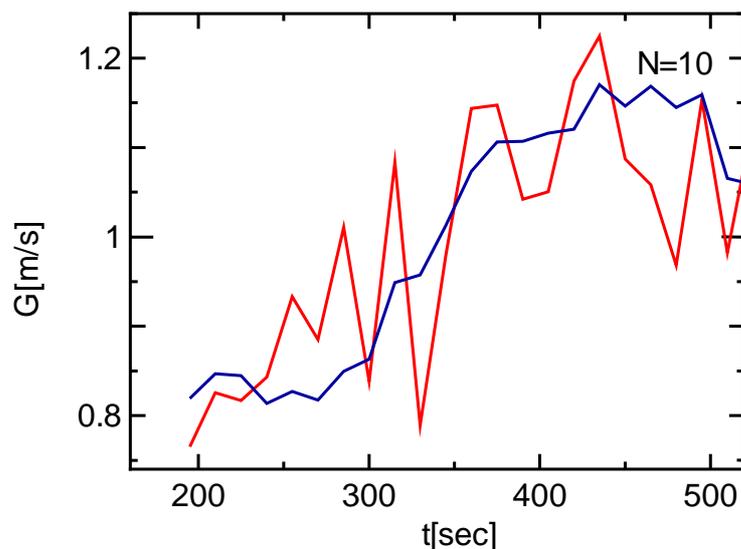


Fig. 41 標準化した H,G(N=14)

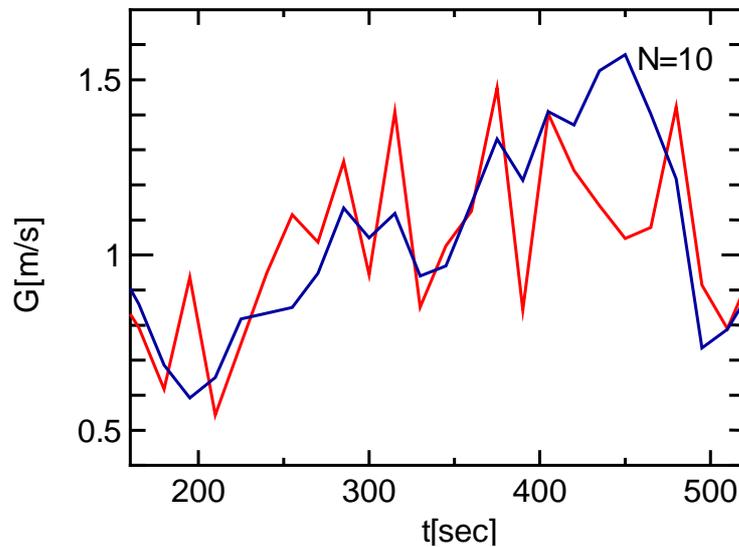


Fig. 42 標準化した H,G(N=6)

N=14 よりも N=6 の方が G のふれは大きい,すなわち,N が大きくなることで誤差の影響は軽微になっていると言える.

### 5.2.5 考察

ここでの検証におけるシミュレーションでの予想と実データの差を Table 6 に示した.

Table 6 t=20 の場合の場合の判定可能な N の値

対象	シミュレーション予想	実データ
Stay/Walk	N が 5 または 6 以上	N が 6 以上
Walk/Bicycle	N が 3 以上	N が 4 以上

およそシミュレーションの予想は適切だったと考えられが,若干シミュレーションの方が判定に関して緩めの条件を示しているとも読み取れる.その原因について考えてみると,シミュレーションでは完全に直線での移動としているため,直線を外れた動きがあった場合にその影響で値が落ち込み,結果として測位誤差以外の影響による値の変動が起きたためだと考えられる.

Slow/Fast の判定では,  $t=20[\text{sec}]$ の本実験ではどの  $N$  においても分離できる結果であったが,  $\gamma$  が小さい場合には  $N$  によって分離可能でない場合もありえるであろう. また, 駅や信号に停車中にどう判定されるべきかという点を踏まえて  $N$  を調整するもあるであろう.

## 6章 結言

## 6.1 結言

本研究では,移動状況推定のための位置情報による速度に関する指標について,通常の指標よりも誤差の少ない指標を提案するとともに,シミュレーションにより,それらの指標の持つ,推定の可能性について明らかにしてきた.

シミュレーションにおいて明らかにされたこととしては,

- (1) 指標 H の場合,常に端点 2 点を用いて  $N=2$  が最も誤差の影響が少ないこと
- (2) 指標 G の場合, $N$  が大きい方が誤差の影響が少ないが, $N$  が 2~6 程度では H よりも影響が大きい場合があること
- (3) 速度変化の検出について, $N$ , をパラメータとした一般的な分離可能下限
- (4) 速度 0 との判別について, $N$ , をパラメータとした分離可能速度下限
- (5) 中抜き処理による G による誤差の影響減少の可能性が挙げられる.

また,実測データを用いた検証において明らかにされたこととしては,

- (1) シミュレーションが一定の精度を持っていること
  - (2) シミュレーションでの分離条件は,実際の移動と比較すると若干制限の緩い方向になる場合があること
- が挙げられる.

以上のことから,本研究の目的である,誤差の影響を明らかにすることと,誤差の少ない新指標を提案することは,概ね達成できたと考える.しかしながら,課題として,今回のシミュレーションから離れたような動きをした場合の具体的な評価方法の確立等があると認識している.

## 7章 謝辞

## 謝辞

本論文は、私杉山康平が東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤情報学専攻中山研究室に在籍中に行った研究についてまとめたものです。私が無事に論文をまとめることができたのは、多くの皆様のおかげであると考えております。ここに末筆ながらお礼を述べさせていただきます。

特に指導教官を引き受けてくださり、本研究内容について日々のご指導いただきました中山雅哉先生には、大変感謝しております。

若原恭先生を始め、研究室関係者の皆様には、日々の適切かつ暖かいアドバイスをいただきましたこと、ここに感謝の意を表します。

また、KDDI 株式会社の関係者の皆様には、本研究に必要な技術情報の提供を快く行って下さったこと、感謝いたしております。

本研究中、他にも多くの方々から様々な助言・激励等をいただきました。微力な私がこうして論文をまとめることができたのは、多くの皆様のおかげであります。それら多くの皆様に感謝の意を表し、結びの言葉とさせていただきます。

## 8章 \*参考文献

## 参考文献

- [1] 総務省報道資料「携帯電話からの緊急通報における発信者位置情報通知機能に係る技術的条件の策定（情報通信審議会からの一部答申）」  
URL: [http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040630\\_10.html](http://www.soumu.go.jp/s-news/2004/040630_10.html)
- [2] Enhanced 9-1-1 (E911), FCC  
URL: <http://www.fcc.gov/hspc/factsheets/enhanced911.pdf>
- [3] Yasuo ASAKURA, Jun TANABE and Yong Hwan LEE:  
Characteristics of Positioning Data for Monitoring Travel Behaviour,  
CD-ROM of 7th World Congress on ITS in Torino, 2000
- [3] 田名部淳, 李竜煥, 岡本篤樹, 杉野勝敏: 移動体端末による交通行動調査の成立可能性
- [4] 中西泰人, 辻貴孝, 大山実, 箱崎勝也: “Context Aware Messaging Service: 位置情報とスケジュール情報を用いたコミュニケーションシステムの構築及び運用実験”, 情報処理学会論文誌, vol.42, No.7, pp.1847-1857, 2001.
- [5] 朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳(2000) PHS による位置情報を用いた交通行動調査手法. 土木学会論文集, No.653 /IV-48, pp.95-104.
- [6] gpsOne 技術情報 :  
[http://www.cdmatech.com/solutions/position\\_location.jsp?L2=position\\_location](http://www.cdmatech.com/solutions/position_location.jsp?L2=position_location)
- [7] EZ アプリ(Java™) 技術情報 :  
<http://www.au.kddi.com/ezfactory/tec/spec/ezplus.html>
- [8] 杉山康平, 中山雅哉: “IAA システムにおける生存者情報の自動位置情報登録とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol103 No.354, pp1-6, 2003.

## 発表資料

- [1] 杉山康平, 中山雅哉: “IAA システムにおける生存者情報の自動位置情報登録とその評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol103 No.354, pp1-6, 2003.