

GPS 測位解析におけるデータ欠損率と精度の関係について

Relationship between data loss rate and accuracy of GPS analysis

井上忠治*・池田尚秋**・佐伯昌之***・志波由紀夫****・畑明仁†・佐藤貢一‡

Tadaharu INOUE, Takaaki IKEDA, Masayuki SAEKI, Yukio SHIBA, Akihito HATA and Kouichi SATO

*学生員 東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

**千葉県水道局 千葉水道事務所 配水工務二課 (〒 260-0842 千葉県千葉市中央区南町 1-4-7)

***正会員 博士 (工学) 東京理科大学 理工学部 土木工学科 講師 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

****フェロー会員 博士 (工学) 大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 (〒 245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

†正会員 大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 (〒 245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

‡大成建設株式会社 技術センター 建築技術開発部 (〒 245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

The objective of this paper is to make clear the relationship between rate of data loss and accuracy of GPS displacement measurements. Wireless sensor network of GPS receivers might be an excellent solution for monitoring displacements of civil structures in dense. One of the important problems in wireless sensor network is power supply. To decrease the energy consumption of sensor nodes, we consider to use a low power wireless communication module. A low power wireless communication module has an advantage in energy consumption, however has an disadvantage in data loss. In this paper, we first investigate the possible rate of data loss in site experiments using a low power wireless communication module, and second simulate the accuracy of GPS displacement measurements with the possible rate of data loss.

Key Words : GPS, displacement, data loss, accuracy

1. はじめに

本研究の目的は、データ欠損率が GPS 測位解析の精度に及ぼす影響を調べることである。

著者等の 1 人は、これまで地震時における迅速な残留変位計測を目的とし、無線センサネットワークと GPS を結合した GPS 高密度多点変位計測システムの開発を進めてきた^{1),2),3)}。このシステムにより、地震等の災害時に、重要な社会基盤構造物の残留変位を直ちに計測し、意志決定者に迅速に伝えることで、救難活動や復旧作業を行う際の有益な判断材料を提供できると考えられる。このようなシステムを構築する場合、地震時においても迅速かつ確実にデータを回収できる無線センサネットワークが必要となる。そのため、既存のシステムでは、無線モジュールとして通信能力の高い無線 LAN を使用してきた。ただし、無線 LAN は速く確実な通信ができるメリットをもつ反面、消費電力が比較的大きく、太陽電池などの外部からの電力供給なしにセンサノードを長期間動作させることができないデメリットをもつ。

ところで、本研究では、対象を地震時のみから広げ、通常時の社会基盤構造物の準静的な変位を計測することを想定する。この場合、センサノードの位置を即座に推定できる必要はなく、高い通信能力をもつ無線モジュールを必要としない。そこで本研究では、通信能力の高い高消費電力の無線 LAN ではなく、通信能力が低

い低消費電力の特定小電力無線装置の使用可能性を検討する。この低消費電力化によって、既存のシステムのような電力供給の必要がなくなり、システムをより簡易なものにできる可能性がある。ただし、特定小電力無線装置を用いる際のデメリットである（通信性能が低いことによる）無線通信中のデータ欠損について考慮する必要がある。GPS により変位を精度良く計測するためには、質の良い GPS データをなるべく多く得る必要がある。データ欠損が頻繁に発生する場合には、計測精度の低下をまねくことになると考えられる。

以上のことを背景とし、本研究では、まず実際に特定小電力無線装置を用いて実現場を模した通信実験を行い、起こりうるデータ欠損率を調べた。そして、その結果を踏まえて、GPS 測位解析精度に及ぼす影響を調べた。その結果、データ欠損率が 50% の際には、精度が 10% 程度低下することが分かった。

2. 本研究で検討する無線装置および GPS 受信機の概要

まず、変位計測システムの全体像について説明する。図-1 にシステムのイメージを示す。このシステムは、無線モジュール、GPS 受信機、小型パッチアンテナを搭載したセンサノード複数個と、サーバを搭載したパソコンから構成される。GPS 受信機は、古野電機社製の 1 周波 GPS 受信機 GT8032 に、カーナビに使用さ

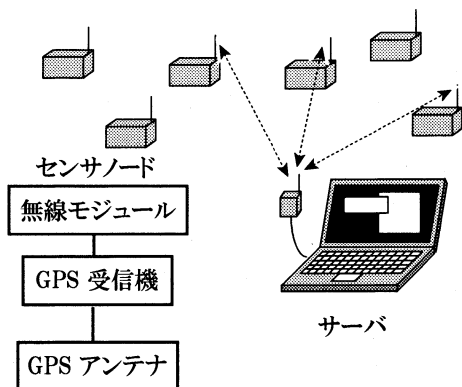


図-1 変位計測システムのイメージ

れている安価な小型パッチアンテナを接続したものを
用いる。

無線モジュールとしては、市販の特定小電力無線装
置を使用した。表-1 に、本研究で検討した特定小電力
無線装置と、その他の主な無線装置の基本的な性能を
示す^{4),5),6)}。

表-1 無線モジュールの性能比較例

モジュール	無線 LAN	ZigBee	特定小電力
通信速度	11 Mbps	250 kbps	9.6 kbps
周波数帯域	2.4 GHz	2.4 GHz	1252 MHz
通信距離	160 m	30 m	600 m
規格	IEEE802 .11b	IEEE802 .15.4	特定小電力 無線
消費電流			
スリープ時	-	40 μ A	22 μ A
受信時	※ 340 mA	40 mA	35 mA
送信時	※ 340 mA	50 mA	43 mA

※最大値

まず、無線 LAN について考察する。無線 LAN は、
消費電力は大きい、より速く、より確実な通信を行
うための無線モジュールである。そのため、通常は電
源事情をさほど気にしなくても良く、確実な通信が必
要な場合に使用されることが多い。しかし、無線センサ
ネットワークで使用される無線モジュールは、殆どの場
合バッテリー駆動が前提となるため、消費電力が大きいこ
とは致命的である。例えば、容量 6.8Wh のリチウムイ
オンバッテリーを使用した場合、無線 LAN を搭載したセ
ンサノードでは、連続動作させた場合には約 5 時間程
度しか稼働しないのに対して、特定小電力無線装置を
搭載したセンサノードは連続動作させた場合で約 18 時
間稼働することができる (GPS 受信機の消費電力を実
測値 220mW とした)。

ところで、近年では、表-1 に示す ZigBee や特定小電
力無線装置といった無線センサネットワーク用の低消

費電力の無線モジュールが開発されている⁴⁾。ZigBee
や特定小電力無線装置は、低消費電力である反面、内蔵
されている機能は無線で通信を行うための必要最小限
な機能にとどまっている。このため、受信データのエ
ラー処理などは、利用者が独自に実装しなければならない。
これらのことから、通信性能と消費電力はトレード
オフの関係にあることが分かる。

さて、ZigBee と特定小電力無線装置の比較を行うと、
特定小電力無線装置は通信距離が長く、ZigBee は通信
速度が大きいことが分かる。これは、使用している電波
の周波数帯の違いが 1 つの理由として挙げられる。一
般に、社会基盤構造物は長大であるため、通信距離が短
いとセンサノード間での複数回のマルチホップ転送が
必要となる。従って、この場合、通信距離は長い方が扱
いやすく有利となる。また、先にも述べたが、本研究で
は即座に GPS データを回収する必要がないため、速い
通信速度は求められない。

以上のことから、本研究では、通信性能は低い低消
費電力で通信距離の長い特定小電力無線装置を検討す
ることにした。

3. 野外実験によるデータ欠損率の計測

3.1 実験の目的と概要

先にも述べた通り、本研究ではセンサノードを低消
費電力化するために、特定小電力無線装置の使用を検
討する。特定小電力無線装置は低消費電力である一方
で、データ伝送速度が遅く、また再送要求などの機能
を備えていない。そのため、GPS データを送信する際
には、データ欠損が多々生じる可能性があり、GPS 測
位解析精度の低下につながる。従って、起こりうるデー
タ欠損と測位解析精度の関係を明らかにする必要がある。
ただし、無線通信の性能は、装置を設置する環境
や装置自身にも依存するため、実現場もしくはそれを
模した環境下での通信試験を行い、実際にデータ欠損
がどの程度発生するかを把握する必要がある。そこで、
本研究では、実際に特定小電力無線装置を用い、そも
そもデータ欠損とはどのような状況下でどの程度起こ
るのかを調べることにした。

図-2 に実験風景を示す。実験は、比較的通視の良
い河川敷で行った。図中の実験 (1)~(4) は、後ほど説
明するそれぞれの実験の実施測線を示している。

本実験で使用した装置は、市販の特定小電力無線通信
モジュール (3 個) と、同じ無線通信モジュールを接続
したノート PC である。以下の説明では、それぞれを
ノード、サーバと呼ぶことにする。受信用のサーバソ
フトは独自に開発し、これをノート PC にインストール
して使用した。

まず、ノードの動作について説明する。ノードはデー
タを送信する側であり、GPS データを模した 1 パケッ

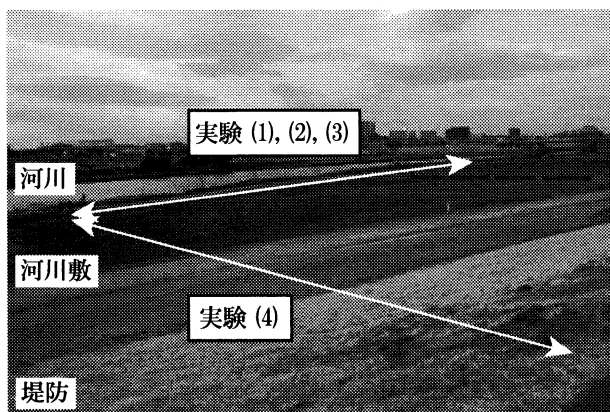


図-2 実験風景

ト = 40 byte のデータを 240 パケット送信するように設定した。この通信では、おおよそ 40 秒の時間が必要となる。本来、我々の使用している GPS 受信機は 1 エポック 266 byte の GPS データを出力するが、これまでの研究により 1 エポック 29 byte にまで圧縮することに成功している²⁾。本研究では、これに精度を改善するために有益な情報 9 byte を加え、1 エポック 38 byte の GPS データとする。これに自ノードの ID として 2 byte を付けて 1 パケット 40 byte とした。また、これまでの研究から、高い信頼性をもって GPS 測位解析をするためには、最低 3 分程度のデータが必要であることが分かっている^{1),2),3)}。そこで、本実験では 4 分間のデータを用いて測位解析することを想定し、240 パケットのデータを送信することとした。

次に、サーバの動作について説明する。サーバは、データを受信する側で、ノードから送られてきたデータの正誤を 1 byte ずつチェックしながら保存していく。GPS データは 1 パケットのうち 1 byte でも欠損もしくは符号誤りが発生すると、その 1 パケットは解析に使用できなくなる。そのため、40 byte のデータがすべて正常であると判断されてはじめて 1 パケットの受信が成功とした。そして、受信に成功した回数を 240 で除した値をパケット到達率と定義した。また、同一条件で計測を行ったところ、結果に 2~3% 程度のばらつきが見られたが、本実験では起こりうるデータ欠損の目安を知ることが目的であるため、単純に 3 回の実験結果の平均を 1 つのデータとして用いた。

本実験では、以下の 4 つの事柄について検証を行った。また、これらの実施測線を図-2 に示した。

実験 (1) 通信距離及び設置高さの影響の評価

実験 (2) アンテナの設置する向きによる影響の評価

実験 (3) センサノードの個体差の確認

実験 (4) 障害物がある場合の影響の評価

3.2 各実験の概要及び結果

(1) 通信距離及び設置高さの影響の評価

ノードとサーバ間の距離を 50 m ずつ離し、それぞれの距離でノードの設置高さを 3 段階に変化させることによって、無線装置の通信可能距離と、設置高さがパケット到達率に及ぼす影響を調べた。図-3 のように、サーバのアンテナ設置高さは常に 1 m とし、ノードのアンテナ設置高さを約 0 m, 0.5 m, 1 m の高さに変化した。尚、無線のアンテナはすべて鉛直に立てて設置し、ノードはすべて同じものを用いた。実験結果をグラフにしたものを図-4 に示す。

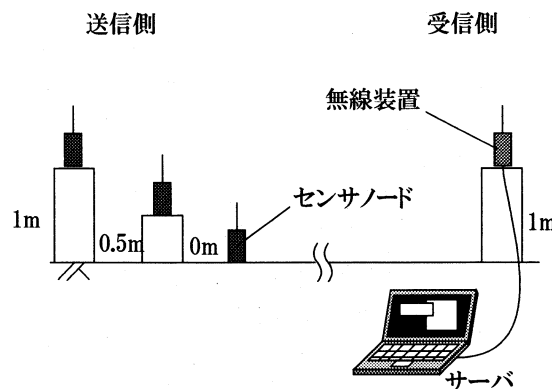


図-3 実験 (1), イメージ図

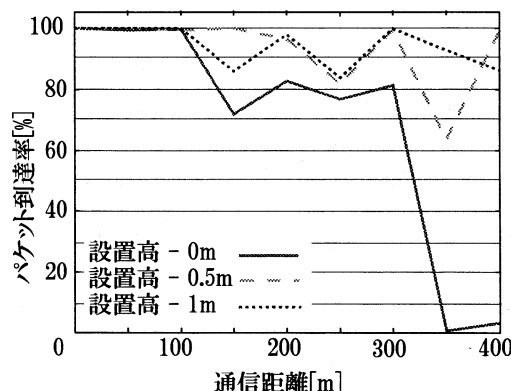


図-4 実験 (1), 通信距離とパケット到達率の関係

図-4 は、縦軸にパケット到達率 [%], 横軸に通信距離 [m] をとったグラフで、通信距離とパケット到達率の関係を表すものである。図-4 を見ると、通信距離が 100 m までは、どの設置高さの場合でもパケット到達率はほぼ 100% であることが分かる。しかし、設置高さが 0 m の場合、通信距離が 100 m を超えるとパケット到達率が 80% 付近をばらつくようになり、300 m を超えるとほとんど通信不可能となることが分かる。これに対して、設置高さが 0.5 m, 1 m の場合は、通信距離が長くなるにつれて結果にばらつきが出てくるものの、60% ~ 100 % のパケット到達率を保っていることが分かる。

これらのことから、無線装置のアンテナを鉛直に立ててある程度地面から離しておけば、通信距離 400 m でも高いパケット到達率が期待できるといえる。

(2) アンテナの設置する向きによる影響の評価

アンテナの設置する向きがパケット到達率に及ぼす影響を調べた。特定小電力無線装置のアンテナは、1200MHz 帯の $1/4\lambda$ ホイップアンテナである。ホイップアンテナとは、ダイポールアンテナの片側をグランドに肩代わりしてもらうアンテナのことであり、水平成分に指向性をもっている⁷⁾。従って、通常は、地面に対して垂直に立てて設置して使用するものである。しかし、実現場での使用を考慮すると、設置方法を限定することになる。そこで、本実験では、地面に対して垂直に設置しなかった場合、垂直に設置した場合に、どの程度結果に差が出るのかを確かめた。

図-5 のように、ノードのアンテナを鉛直、サーバのアンテナに対して直交と対向に設置し、結果の比較を行った。尚、アンテナの設置高さはどれも 1 m で、サーバのアンテナは常に鉛直に設置した。通信距離を 100 m、200 m、300 m としたときの実験結果を図-6 に示す。

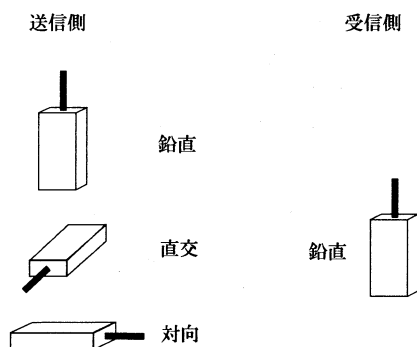


図-5 実験(2)、アンテナの設置する向き

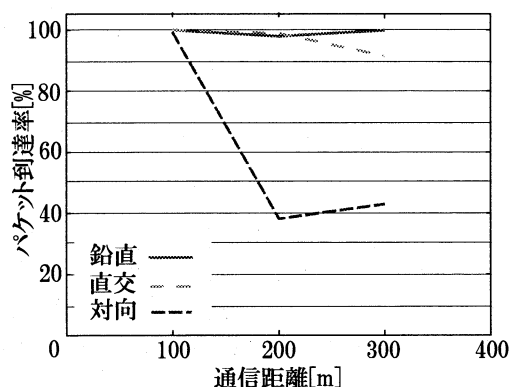


図-6 実験(2)、アンテナの設置向きの影響

図-6 は、アンテナの設置向き別に、通信距離とパケット到達率の関係を表したグラフである。図-6 を見ると、鉛直に立てて設置したアンテナからデータを送信した

場合のパケット到達率は 300m でもほぼ 100% であることが分かる。それに対して、受信側に対して対向に設置されたアンテナからデータを送信した場合のパケット到達率は極端に低い。また、ノードのアンテナを鉛直に立てて設置し、サーバのアンテナをノードに対して対向に設置しても同様の結果が得られる。これらのことから、アンテナはサーバ、ノードともに、鉛直に立てて設置することが望ましいといえる。

(3) 無線通信モジュールの個体差の確認

ノードの個体差を調べるため、通信距離が 100 m、200 m、300 m のときにノードを交換して同一の実験を行った。ノード、サーバのアンテナはすべて鉛直方向に設置し、設置高さは常に 1 m とした。実験結果のグラフを図-7 に示す。

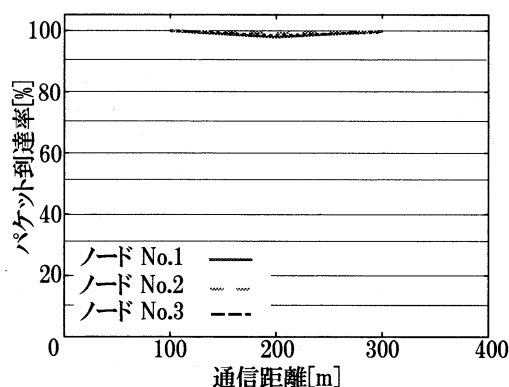


図-7 実験(3)、無線通信モジュールの個体差の確認

図-7 は、3つの異なるノードに対して、通信距離とパケット到達率の関係を表したグラフである。図-7 を見ると、個体差はほとんど無いことが分かる。

(4) 障害物がある場合の影響の評価

ノードとサーバの間に障害物がある場合の影響を調べた。サーバからセンサノードを見通せる条件で行った前述の実験(1)において、通信距離 100 m のときの条件をパターン 1 とする。これに対して本実験では、図-8 のように、サーバからノードを若干見通せる場合（通信距離 92 m）をパターン 2、全く見通せない場合（通信距離 104 m）をパターン 3 とした。そして、これらの設置条件でパケット到達率を計測し、結果を比較した。尚、ノード、サーバのアンテナはすべて鉛直に設置し、サーバのアンテナ設置高さは常に 1 m とした。ノードのアンテナ設置高さは 0 m と 1 m の2パターンで行い、ノードはすべて同じものを用いた。実験結果を図-9 に示す。

図-9 は、ノード設置条件ごとのパケット到達率を表したグラフである。ノードを見通しの良い場所に設置したパターン 1 と、堤防の上端近くに設置したパターン 2 のパケット到達率はほぼ 100% であることが分かる。それに対して堤防のかなり奥にノードを設置した

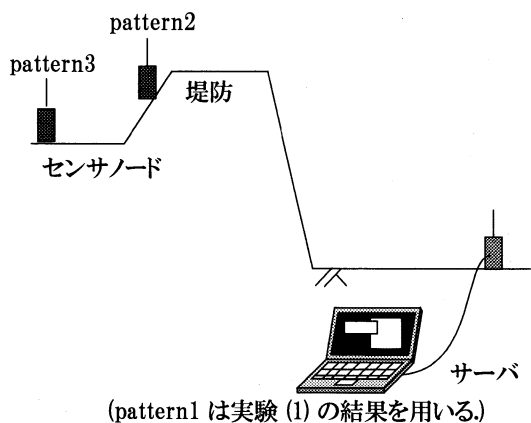


図-8 実験 (4), 障害物を挟んだ実験のイメージ図

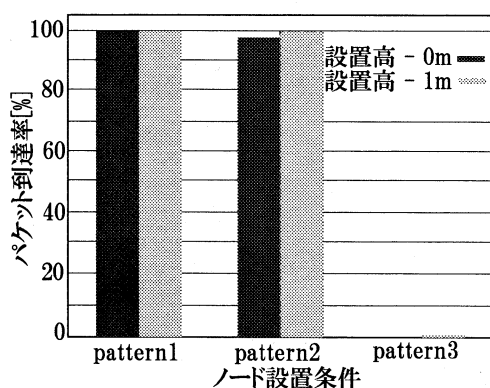


図-9 実験 (4), 障害物が存在する場合のパケット到達率

場合のパターン 3 のパケット到達率は、ほぼ 0% である。このことから、電波の回折はほとんど期待できないことが分かった。従って、サーバとノードは互いに目視できるように設置することが望ましいと言える。

3.3 実験結果のまとめ

本実験により、特定小電力無線装置に関して分かったことを以下にまとめる。

1. 無線装置は、ある程度地面から離してアンテナを鉛直に立てて設置すれば、通信距離 400 m でも高いパケット到達率で通信することが可能である。
2. 周囲の状況から電波の反射が期待できない場合には、ノード同士は互いに視認できる必要がある。
3. 上記の条件を満足した状態で考えられる最低のパケット到達率は、実験 (1) の結果から 60% 程度である。これは、データ欠損率で言えば 40% 程度である。

4. データ欠損率と GPS 測位解析精度の関係

4.1 GPS データの取得

データ取得は、見通しの良いビルの屋上で、小型パッチアンテナをコンクリートの屋根スラブ面に直接固定して行った。測位解析精度は衛星の配置に依存するため、データ取得時間は、GPS 衛星が地球の周りを 2 周する時間に合わせて約 24 時間とした (GPS 衛星の周回周期は約 11 時間 58 分で、周回周期と地球の自転を考慮すると約 23 時間 56 分後に同じ場所に戻ってくるため⁸⁾)。その後、1つのアンテナを東におよそ 10cm 動かし、再び約 24 時間の観測を行った。従って、全部で約 48 時間のデータを取得したことになる。

4.2 解析方法

(1) 本研究で用いる測位解析アルゴリズム

観測データは、L1 周波数帯の搬送波位相である。GPS 衛星 k から放射される電磁波を受信機 i で時刻 t に受信した搬送波の位相を $\phi_i^k(t)$ とする。一般に、干渉測位解析では、搬送波位相の二重差 ($*_{ij}^{kl} = *_{i,j}^k - *_{i,j}^l + *_{i,j}^l - *_{i,j}^k$) を計算し、それを観測値として受信機の相対位置を推定する。搬送波位相の二重差 $\phi_{ij}^{kl}(t)$ は、次式によりモデル化される⁹⁾。

$$\phi_{ij}^{kl}(t) = \rho_{ij}^{kl}(t) + \lambda N_{ij}^{kl} + \Delta_{ij}^{kl}(t) + \epsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (1)$$

ここで、 $\rho_{ij}^{kl}(t)$ は衛星と受信機間の真の距離の二重差、 N_{ij}^{kl} は整数値バイアスの二重差、 $\Delta_{ij}^{kl}(t)$ はアンテナ誤差の二重差、 $\epsilon_{ij}^{kl}(t)$ はホワイトノイズの二重差であり、 λ は搬送波 (L1 帯) の波長である。

本研究では、1 [mm/日] 以下の微小な変位をモニタリングすることを想定している。搬送波の波長は約 19cm であり、変位量に比べて十分に長いため、一度受信機の位置を決定すれば、その後の $\rho_{ij}^{kl}(t)$ は高精度に推定することができる。また、式 (1) の左辺は観測値であり、さらに $\Delta_{ij}^{kl}(t)$, $\epsilon_{ij}^{kl}(t)$ は誤差で 1 よりも十分に小さい。これらのことから、整数値バイアスの二重差 N_{ij}^{kl} は式 (1) を最も説明する整数値として求めることができる。

結局のところ、 N_{ij}^{kl} を既知量として観測値 $\phi_{ij}^{kl}(t)$ に含めてしまえば、観測方程式は次式の様になる。

$$\phi_{ij}^{kl}(t) = \rho_{ij}^{kl}(t) + \Delta_{ij}^{kl}(t) + \epsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (2)$$

ここで、受信機の初期位置を $\mathbf{x}_0$ 、ある時刻における変位を $\Delta \mathbf{x}$ 、その時の受信機の位置を $\mathbf{x}$ とすれば、

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \Delta \mathbf{x} \quad (3)$$

となる。これを式 (2) の $\rho_{ij}^{kl}(t)$ に代入し、 $\Delta \mathbf{x}$ について線形化を行えば、解くべき連立方程式を得ることができる。仮に N_s 個の衛星からの電波を受信していれば、方程式の数は $N_s - 1$ 個であり、一方で未知数は変位 3 成分のみであるので、最小二乗法により解く事ができ

る。また、精度を上げるには、幾つかの時刻のデータを使って同時に解けばよい。

(2) 変位精度検証方法

はじめに、データ欠損率 0% の場合で、変位算出方法と精度算出方法を説明する。まず、1 日目のデータから 4 分間のデータを取り出して解析を行う。次に、2 日目のデータも同じように 4 分間のデータを取り出して解析を行う。そして、1 日目の解析結果と 2 日目の解析結果の差をとればアンテナの変位を求めることができる。このとき、解析結果は衛星の使用状況や位置に大きく依存するため、2 日目に使用するデータは 1 日目に使用するデータの 23 時間 56 分後のものを使用し、衛星の配置を同じにする。この作業を、取り出すデータを 1 秒ずつずらして約 24 時間分行う。そして、算出された変位の平均値からの残差の標準偏差を計算し、その 2 倍値を測位解析精度とする。

データ欠損が生じた場合は、最も条件が悪い場合を考慮して解析を行う。例えば 50% のデータが欠損したとすると、解析の際に取り出す 4 分間のデータのうち最後 2 分間を削除する。すると、4 分間のデータを取り出したにも関わらず、衛星は 2 分間しか移動していないことになる。衛星からの電波は様々な位置から受信した方が解析には有利になるので、衛星が最も移動していないこの条件が最も悪い条件となる³⁾。また、前章で行った通信実験の結果から、データ欠損率は 0~50% のときを考慮して解析を行う。

4.3 解析結果

表-2 にデータ欠損率と精度の関係、表-3 にデータ欠損率と 24 時間の平均変位の関係、図-10 にデータ欠損率と精度低下率の関係、図-11 に x 座標の変位時系列グラフ、図-12 に捕捉衛星数の時系列グラフをそれぞれ示す。

表-2 データ欠損率と精度

欠損率	x 座標 [cm]	y 座標 [cm]	z 座標 [cm]
0%	0.18	0.23	0.49
10%	0.18	0.24	0.50
20%	0.18	0.24	0.51
30%	0.19	0.25	0.52
40%	0.19	0.25	0.55
50%	0.20	0.26	0.55

表-3 データ欠損率と平均変位

欠損率	x 座標 [cm]	y 座標 [cm]	z 座標 [cm]
0%	9.71	-0.77	0.14
50%	9.71	-0.77	0.14

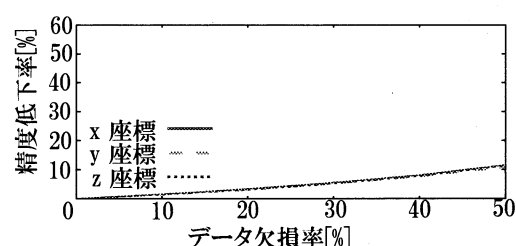


図-10 データ欠損率と精度の低下率

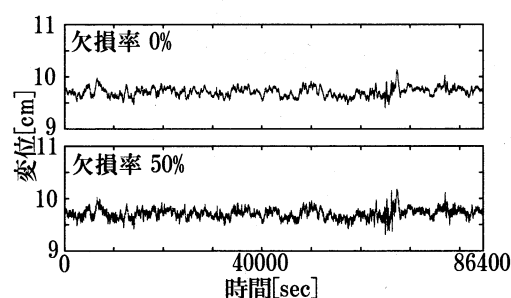


図-11 x 座標の変位時系列

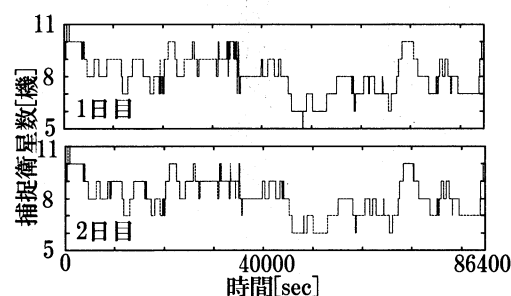


図-12 捕捉衛星数の時系列

先にも述べたように、測位解析結果は 2 つのセンサノード間の相対位置で与えられる。ここでいう三次元直交座標はこの相対位置を表す相対座標のことで、基準となるセンサノードを原点として東西方向に x、南北方向に y、鉛直方向に z をとっている。また、図-10 は、データ欠損率 0% のときの精度を 0% の低下率としたときの、データ欠損率と精度低下率の関係を表す。

表-2 を見ると、データ欠損率 0% のときは、x、y 座標で約 2mm の精度、z 座標で約 5mm の精度であることが分かる。データ欠損率 50% のときを見てみると、0% のときと比べて多少の精度悪化が見られるが、それほど大きく悪化していないことが分かる。図-10 を見ても、データ欠損率が上がるにつれて確かに精度の悪化が見られるが、最高で約 12% の精度低下にしかになっていない。また、表-3 を見ると、データ欠損率が 0% のときと 50% のときで 24 時間の平均変位が 0.1mm のオーダーで等しいことが分かる。さらに、図-11 を見ても、データ欠損率 0% と 50% のときで大きな変化は見られ

ないことが分かる。また、図-12を見ると、1日のうちに捕捉衛星数が少ない時間帯が何箇所かあることが分かる。この時間帯の変位時系列を図-11で見ると、変位の平均値を表す線から比較的離れた場所に分布していることが分かる。このことから、捕捉衛星数が少ない時間帯に行った解析が、全体の精度を多少下げてしまったと考えられる。

4.4 4章のまとめ

この章では、3章で行った通信実験をもとに起こりうるデータ欠損率について GPS 測位解析精度に及ぼす影響を調べ、以下のことが分かった。

1. データ欠損率によって確かに精度の悪化が見られたが、見通しの良い場所で、コンクリートの屋根スラブ面にアンテナを直接固定した理想的な環境下でなら、データ欠損率が 50% で精度の低下率は 12% 程である。
2. 理想的な環境下であるなら、データ欠損率が低い場合は水平成分で 2mm、鉛直成分で 5mm 程度の精度で変位計測が可能である。
3. 捕捉衛星数の少ない時間帯にデータを取得すると、解析精度は低くなる。

5. データ長と GPS 測位解析精度の関係

5.1 解析の概要及び方法

前章の解析結果から、4分の GPS データが 50% 欠損した場合でもそれほど測位解析精度に影響を与えないことが分かった。このことから、そもそもセンサノードが取得する GPS データ量は 4分以下で良い可能性が考えられる。そこで、データ長と測位解析精度の関係を調べ、センサノードが観測する連続データ量を議論しなおすことにする。尚、1回の解析に使用する連続データの長さを、ここではデータ長と定義する。

解析は、前章で取得したデータを用いて、基本的に前章と同じ方法で行う。先にも述べたが、前章で行った解析は、データ欠損が起きた場合、最も悪い条件で解析を行った。最も悪い条件とは、例えばデータ欠損率が 50% の場合、4分のデータ中後ろ 2分が固まりで欠損してしまうことである。つまり、4分のデータに 50% のデータ欠損があった場合の解析は、データ長 2分で解析を行う場合と同じことである。このことから、前章の結果より、本研究で用いている解析アルゴリズムで解析を行うと、データ長 2分でも 4分の結果とさほど変わらないことが分かる。そこで、ここではデータ長を 2分よりもさらに短くして解析を行い、データ長と測位解析精度の関係を明らかにする。このとき、データ長は 2分の 10% ずつ短くしていくことにする。

5.2 解析結果

表-4 にデータ長と精度の関係、図-13 にデータ長と精度低下率の関係、図-14 にデータ長 84 秒のときと 12 秒のときの x 座標の変位時系列グラフをそれぞれ示す。尚、図-13 の精度低下率は、データ長 4 分のときを基準としている。

表-4 データ長と精度

データ長	x 座標 [cm]	y 座標 [cm]	z 座標 [cm]
240 秒	0.18	0.23	0.49
120 秒	0.20	0.26	0.55
108 秒	0.20	0.26	0.56
96 秒	0.20	0.27	0.57
84 秒	0.21	0.28	0.59
72 秒	0.21	0.28	0.60
60 秒	0.22	0.29	0.62
48 秒	0.23	0.30	0.65
36 秒	0.24	0.31	0.68
24 秒	0.26	0.33	0.73
12 秒	0.30	0.39	0.86

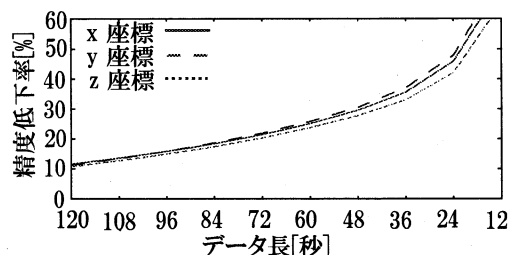


図-13 データ長と精度の低下率

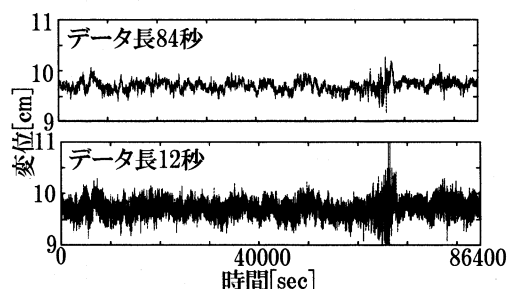


図-14 x 座標の変位時系列

表-4を見ると、データ長が短くなるにつれ精度は徐々に下がり、12 秒のときには水平精度で約 3~4 mm、鉛直精度で約 9 mm であることが分かる。また、図-13を見て分かるように、データ長が 30 秒を切った辺りから著しく精度が悪化していることが分かる。図-14を見ても、データ長 84 秒のときと 12 秒のときでは精度の

著しい悪化が見てとれる。また、データ長 84 秒までは、データ長 4 分のときと比べて水平、鉛直精度共に精度の差は 1 mm 以内であることが分かる。

5.3 5 章のまとめ

この章では、センサノードが GPS の観測をする最適な時間を議論するために、データ長と測位解析精度の関係を調べ、以下のことが分かった。

1. データ長を短くしていても、基本的には精度は徐々にしか低下していかない。
2. データ長が約 30 秒を切ると、精度は著しく低下する。
3. 今回の検証結果から、データ長を短くしても精度に及ぼす影響は比較的小さいことが分かった。逆をいえば、データ長を長くしても精度の向上は期待できないということになる。今後、地盤沈下等の準静的な変位を計測するにあたって、精度を改善するために測位解析アルゴリズムの更なる工夫が必要であると考えられる。また、求められる測位解析精度と GPS データ取得に必要な消費電力から、最適なデータ長を算出する必要があると考える。

6. まとめ

本研究は、特定小電力無線装置を使用したときに起こりうるデータ欠損率を調べ、その起こりうるデータ欠損率が測位解析精度に及ぼす影響について調べた。それによって、以下のことが分かった。

1. 本研究で検討した特定小電力無線装置は、無線通信に確実性がなく通信速度は遅いが、約 400m までデータ伝送できることが確認できた。
2. 特定小電力無線装置を使用するときは、ある程度地面から離して、アンテナを垂直に立てて設置する必要がある。また、通信する無線装置はお互いに視認できる必要がある。
3. データ欠損率が 50% でも、精度は 12% 程度しか悪化しなかった。このことから、解析に必要なデータ長は 4 分以下で良い可能性があることが分かった。
4. データ長 4 分の解析結果と、データ長約 90 秒の解析結果では、精度に 1mm 以下の差しか見られなかった。逆を言えば、データ量を多くしてもさほど精度は向上しないということである。

今後の課題としては、以下の 3 つが挙げられる。

1 つめとして、GPS 測位解析精度のさらなる向上が挙げられる。地盤沈下等を計測するために必要な精度は、鉛直成分で 1 mm は必要であると考えられる。しかし、4 章、5 章の解析結果から、未だその精度には達していないため、さらなる精度向上方法を考える必要がある。

しかし、本研究の結果から、データ量を多くしてもさほど精度は向上しないことが分かった。従って、さらなる精度向上を目指すためには、マルチパスノイズを削除する等の工夫が必要である¹⁰⁾。

2 つめとして、センサノードが取得する最適な GPS データ量を検討することが挙げられる。センサノードが必要以上に GPS データを取得すると余計に電力を消費してしまうため、必要な精度を最低限満足するようなデータ長を調べなければならない。

3 つめとして、最低限のデータを確実にサーバへ伝送するための無線通信方法を考える必要がある。必要な精度を満たすために最低限必要なデータを伝送する場合、無線通信中のデータ欠損等は許されなくなる。この問題を解決する方法は次の 2 点が挙げられる。1 つめとして、データ再送要求の通信プロトコルを開発する方法が挙げられる。データ再送要求プロトコルを組み込めば、すべてのデータを確実に取得することが可能となる。しかし、この方法の場合、通信時間がさらに長引くために、その分電力を消費してしまうことになる。2 つめとして、最低限必要なデータ量よりもいくらか余計にデータを取得する方法が挙げられる。データを余計に取得しておけば、無線通信中にデータ欠損が起きたとしても、ある一定量までは解析結果に影響を及ぼさないことになる。しかし、この方法の場合、データ欠損がどの程度起こるのかはその都度変わる可能性があるため、確実性に乏しい。十分に長い時間データを取得すれば確実性は増すが、その分消費電力は大きくなる。以上の 2 点の方法が挙げられるが、実際には 2 つの方法をバランス良く使用して、消費電力、確実性、精度等あらゆる面から最適なデータ伝送方法を考案する必要があると考える。

参考文献

- 1) 佐伯昌之、高坂朋寛、堀宗朗：1 周波 GPS 受信機と無線 LAN を用いた多点変位計測システムの開発、応用力学論文集、Vol. 8, pp. 645-652, 2005
- 2) 高坂朋寛、金子昌平、佐伯昌之：1 周波 GPS 受信機の無線センサネットワークにおける通信データ量削減手法について、応用力学論文集、Vol. 9, pp. 709-716, 2006
- 3) 佐伯昌之、金子昌平、井上忠治：静的・近接条件に特化した GPS 測位解析アルゴリズムの開発、応用力学論文集、Vol. 10, pp. 639-648, 2007
- 4) 安藤繁、田村陽介、戸辺義人、南正輝：センサネットワーク技術、東京電機大学出版局、p. 45-51, 2005
- 5) CF タイプ無線 LAN マニュアル、株式会社メルコ
- 6) <http://www.xbow.jp/zigbee-smartdust.html>
- 7) 根日屋英之、小川真紀：ユビキタス時代のアンテナ設計、p. 85-88, 2005
- 8) 坂井丈泰：GPS 技術入門、東京電機大学出版局、p. 65-69, 2003
- 9) 土屋淳、辻宏道：新・GPS 測量の基礎、社団法人日本測量協会、p. 165-207, 2002
- 10) 畑中雄樹：GPS 観測におけるマルチパス等の影響について、月刊地球、号外 No.25, p. 200-204, 1999

(2008 年 4 月 14 日 受付)