

## GPS 無線センサネットワークを用いた変位モニタリングにおけるセグメント化の検討

東京理科大学 学生員 ○今村 俊毅  
 元東京理科大学 非会員 本橋 瞳  
 東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

## 1 はじめに

著者らは、地盤変位の計測を目的に GPS と無線センサネットワークを結合させた GPS 無線センサネットワークの開発を進めてきた<sup>1)</sup>。本システムの特徴は、1) 無線センサネットワークであるため、設置や維持管理が容易である。また、2) センサノードがバッテリー駆動かつ安価であることから、高密・多点で変位計測することが可能である、ということである。

さて、本システムのさらなる改善点としては、変位計測精度の向上とシステムの低消費電力化が挙げられる。一般的に GPS 観測において変位を高精度に求めるには、長時間の観測が行われる。しかし、この場合センサの消費電力は増大してしまい、低消費電力化を目指す上では望ましくない。このように、高精度化と低消費電力化はトレードオフの関係にある。

短い観測時間で高精度化を図るために、観測データをセグメント化する手法が提案されている<sup>1)</sup> (以後、セグメント分割手法と呼ぶ)。本研究ではこのセグメント分割手法を用いる際、セグメントの分割数、またセグメント長が精度にどのような影響を与えるのか検証した。

## 2.セグメント分割手法

一日に $T$ 秒間だけ無線センサノードに電源を投入して L1 搬送波位相を観測する場合を考える。セグメント分割手法では、その時間を $N$ 分割して観測する。いま、ある時刻 $t_n$ に観測時間長 $T_n$ 秒で搬送波の位相を観測したとする。この 1 つのデータのかたまりをセグメントと呼ぶ。一般に、搬送波位相の二重差は、短時間で 2 点間の相対位置が変化しない場合には、時間に対して傾きの小さな直線に近似できることが知られている。そこで、搬送波位相の二重差の近似直線を推定し、この 1 つのセグメントを代表して 1 つの時刻について搬送波位相の二重差を求めることにする。この時刻にお

ける線形化された観測方程式は一般に次式の様に表すことができる<sup>1)</sup>。

$$\mathbf{U}(t_n) = \mathbf{A}(t_n)\mathbf{x} + \mathbf{e}(t_n) \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{U}(t)$ は観測ベクトルに相当するもので修正された搬送波位相の二重差である。 $\mathbf{A}(t)$ は未知ベクトル $\mathbf{x}$ の係数行列で、受信機と衛星の幾何学的関係のみによって決まる行列である。 $\mathbf{x}$ は変位を表す未知ベクトルであり、 $\mathbf{e}(t)$ は誤差ベクトルである。

式(1)を複数のセグメントで連立して解けば、変位 $\mathbf{x}$ は次式で求めることができる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{G}^{-1} \left[ \sum_{n=1}^N \mathbf{A}^T(t_n) \mathbf{R}^{-1}(t_n) \mathbf{U}(t_n) \right] \quad (2)$$

$$\mathbf{G} = \sum_{n=1}^N \mathbf{A}^T(t_n) \mathbf{R}^{-1}(t_n) \mathbf{A}(t_n) \quad (3)$$

ここに、 $\mathbf{R}(t)$ は観測ベクトルに対する誤差共分散行列である。

式(2)により推定される変位の精度は、係数行列 $\mathbf{G}$ の性質と観測ベクトル $\mathbf{U}$ に含まれるノイズによって決まる。係数行列 $\mathbf{G}$ は、衛星と受信機の幾何学的関係によって決まる行列である。そこで、観測時間長をセグメント化し、各セグメントにおける衛星の配置ができるだけ異なる様にすれば、一次独立性の強い情報を得ることができ、高精度化につながると考えられる<sup>1)</sup>。

ところで、センサノードは観測を開始すると、まず衛星からの電波探索を行う。様々な条件によって変わるが、例えば 5 つ以上の衛星を捕捉するのに要する時間は、hot start であれば 10 秒程度、cold start であれば 40 秒程度と言われている。ここで、分割数を多くした場合を考えると、各セグメントのデータ長 $T_n$ のうち、最初の数十秒間は捕捉衛星数の少ない不安定なデータとなり、解析に有効なデータを失う要因となる。以上の様に、セグメント化を行うことで係数行列の性質を改善できるものの、多くに分割しすぎると、かえ

キーワード：GPS、無線センサネットワーク、準静的変位、モニタリング、精度

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL：04-7124-1501

って有効なデータ量を減らしてしまうジレンマが存在する。このような点に考慮し、セグメント分割手法を用いる際、セグメントの分割数と1つのセグメントの観測時間長が精度に及ぼす影響を検証した。

### 3.実証試験による性能検証

セグメントの分割数とデータ長が精度に与える影響を検証するため、周囲にGPS衛星からの電波を遮断するような障害物がほとんどないビルの屋上において、平成22年11月～同年12月の約1ヶ月にわたり観測を行った。図-1にGPSデータ取得の様子を示す。実験では、センサノードはhot startにて起動し、電源投入後の早い段階で多くの衛星データを捕捉できるようにしている。



図-1 ビル屋上でのGPSデータ取得の様子

実験・解析方法は以下の通りである。

- 1) 実験では、1秒サンプリングで245秒間観測し、これを2時間に1回のペースで観測した。(1日11セグメントを取得)
- 2) 解析では、ある日のデータから任意に $N$ 個のセグメントを選択し、データ長を $T$ 秒に揃えて式(3)により変位を解析した。これを31日間のデータに適用して変位の時系列を計算した。
- 3) 上記2)の解析を全てのセグメントの組合せで行い、推定変位の標準偏差の2倍値をそのセグメント数 $N \cdot$ データ長 $T$ のときの精度とした。
- 4) 解析に使用するデータ長を40～240[s]間で20[s]刻みで増やしていき解析を行った。またセグメントの分割数は1, 4, 8, 11の場合について解析した。

図-2に各セグメント数とデータ長のときの変位の推定精度を示す。横軸はセグメントのデータ長であり、縦軸は変位の推定精度を表す。

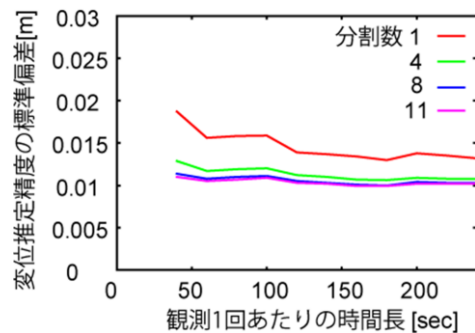


図-2 分割数とデータ長の関係

図-2より、分割数が少ない場合、観測時間長を長くすることで精度を改善できることが分かる。しかしながら、その改善効果には限界があり、セグメントを増やす方が遥かに精度改善効果を得られることが分かる。例えば分割数1、データ長240秒の場合と分割数4データ長60秒の場合では、1日あたりの観測時間は240秒と等しいが、分割数を4つにした方が、変位の推定精度が高くなると分かる。

一方で、分割数が多い場合には、各セグメントのデータ長を長くしても精度にはあまり影響を与えない事が分かる。このことから、捕捉衛星数が十分に確保できる時間から60秒程度データを取得できれば、観測時間として十分であり、これ以上のデータ取得は余分な消費電力の増大につながると考えられる。

また、分割数を増加させるほど精度は向上したものの、分割数が増加していくにつれ、精度は収束していく傾向が見られた。本研究では分割数11までの検討を行ったが、さらに分割数を増加させたとき精度に変化が見られるのか今後さらなる検証が必要だと考えられる。

### 5.本研究のまとめ

本研究では、セグメント分割手法について、セグメント数とデータ長が精度に及ぼす影響を調べた。その結果、セグメント数を増やすことは有効であり、その場合にはデータ長は60秒程度あれば十分であることが分かった。

### 参考文献

- 1) 佐伯昌之, 井上忠治, 澤田茉伊, 志波由紀夫: GPS無線センサネットワークを用いた準静的変位モニタリングに関する基礎的検討, 応用力学論文集 Vol. 12 2009年8月