「GPS気象学：GPS水蒸気情報システムの構築と気象学・測地学・水文学への応用に関する研究」－GPS水蒸気情報システムの開発と運用：海上での移動体測位への応用－

研究期間　9年度～11年度(3年計画)
研究機関　水路部企画課海洋研究室、航法測地課
研 究 者　矢吹哲一朗・藤田雅之・笹原昇・浅田昭

Ⅰ．研究の目的

水路部では、海上での水路測量や様々な計測にとって基本的な情報となる測位の精確度の向上を目指して、GPSを用いた高精度測位の研究を実施している。これらは、刻々と位置の変わる移動体（船舶や海上ブイ等）の位置を、１メートル以下の誤差で求めることを目指すものである。

GPS気象学は、GPS大気遅延量測定データから、時間空間分解能の高い水蒸気の分布を精度よく推定し、大気中の水蒸気データベースを構築する計画である。

本研究は、水路部測量船を利用して、海上でGPS位相観測データを収集し、その解析処理で得られる移動体の測位精度を評価すると共に、海上のアプリオリな水蒸気情報による手法の精度向上の可能性を追求することを目的とする。

Ⅱ．研究の内容

１．方法

測量船を用いてＧＰＳ位相観測データを高サンプリングレートで取得し、同時観測した陸上基準点との間で On the Fly(OTF) モードで後処理解析を実施した。観測は、Trimble社の4000SSE/SSiを用いて行い、一般的に0.5秒～１秒の間隔でデータを収録した。解析には、IGSの精密軌道暦を用い、Trimble社のソフトウェアGPSurveyを用いている。

OTF解析では、固定点のＧＰＳ搬送波位相観測結果と動いている物体での位相観測の差を取り、搬送波の波長を単位とした距離測定の分解能で、動いている物体の軌跡を求める（参考文献１）。その際に、（コードを用いた測距と異なり）搬送波位相の各波がＧＰＳ衛星から放射された時刻を直接に認識できないので、波長の整数倍の不確定（整数値バイアス）が残る。このため、ある程度の時間（少なくとも数分以上）にわたる連続的な搬送波の追跡によって、整数値バイアスの共通な多数の観測データを取得し、解析によって軌跡と整数値バイアスを同時に求める。このため、衛星はある程度の時間帯、５個以上が２カ所で同時に見えていなければならない。

さらに平成11年度には、３つのアンテナを取り付けて相模湾海域で、8月11日～13日に測量船「海洋」により、12月11日～12日には測量船「天洋」により実施した。陸上基準点は、相模湾北部の真鶴と伊豆半島南部南伊豆で、基線長は、10～80 ㎞である。

２．研究成果

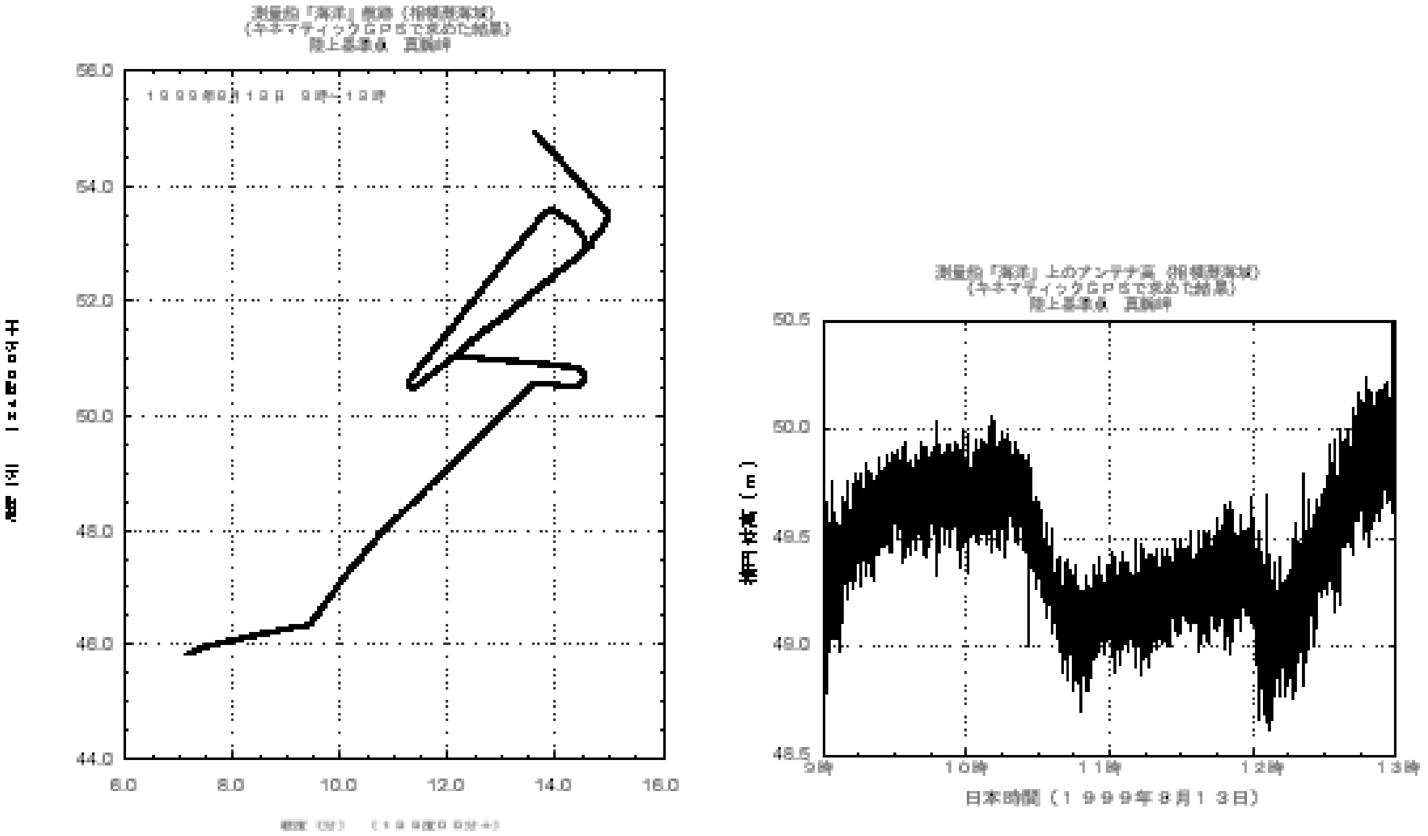
解析には、IGSの精密軌道暦を用い、Trimble社のソフトウェアGPSurveyを用いている。

平成11年度8月の観測では、伊豆半島の東方海域で４時間以上にわたり連続的に観測を行い、GPSurveyで一括して解析を行った。この時の船上へのアンテナの設置の様子を図１に示す。なお、３つのアンテナが船上に設置されたが、解析に用いたのは今のところ、１つのみである。真鶴を固定点として解析した成果を図２に紹介する。基線長は、30～50㎞である。時間は、日本時間の朝９時から４時間のデータを用いる。４時間の間には、４～７個の衛星を２カ所で同時に観測することができた。このときに、同じく真鶴を固定点と

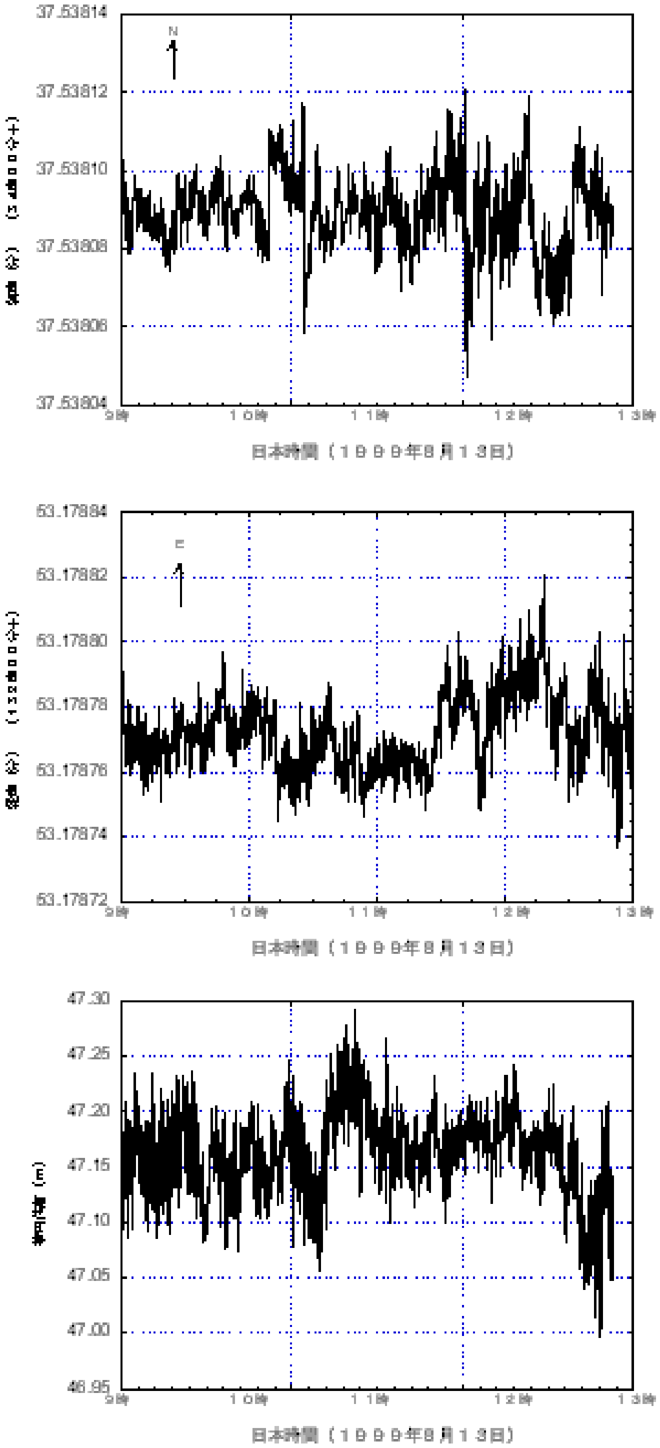
して、南伊豆の固定観測点での観測結果を、OTFモードで解いた結果が図３である。通常はこのような解析は行われない（固定点での観測結果は、点が動かないという拘束条件をつけて座標の３成分のみを解く）が、図３では、南伊豆の固定観測点の見かけの時間変動が示されている。

図３のばらつきは、水平成分で数センチメートル、鉛直で10㎝程度である。この結果は、平成９年の結果の短距離基線と長距離基線の結果の差から推定される測位誤差とほぼ同レベルである（参考文献２）。ほぼ測量船のキネマティック測位誤差のばらつき成分と同じレベルであると考えてもよいと思われる。

第１図　平成11年8月の相模湾航海の時に測量船「海洋」船上に取りつけられたGPSアンテナ。手前左側の丸い円盤と、奥のマストの上の左右に取り付けられた２つの円盤が、GPSアンテナのグランドプレーン。



第２図　平成11年8月13日の９時～１３時の４時間の測量船「海洋」の航跡（左）と、船上に取りつけられたGPSアンテナの楕円体高の時間変化（右）。真鶴を固定点として、キネマティックGPSの手法で得られた結果。第１図で、手前にあるアンテナのデータを用いた。



第３図　南伊豆固定観測点でのＧＰＳ位相観測結果を真鶴を固定点としてキネマティックGPSの手法を用いて解析し、求められた南伊豆の位置の見かけの時間的変化。時間は図２に同じ。

III．むすび

１．　活用方策

　本研究では、海上移動体の測位誤差の評価と、誤差原因の推定、そのモデル化や削除の手法開発を目標とし、その中で、特に大気遅延の影響を除く手法開発を意図して研究が行われた。現在、海面の高さをＧＰＳの搬送波を用いて求めることは、海洋調査にとって、今後ますます重要なテーマにあると考えられ、発展が期待されている分野である。大気の影響に加えて、電離層の影響、マルチパスの影響等についても今後の研究が期待される。

２．今後の問題点

　誤差の大きさの評価についてはある程度の成果が得られたものの、残念ながら、誤差原因の推定、そのモデル化や削除の手法開発については、まだ充分な成果が得られたとは言い難い。平成11年8月の結果について、もし観測が理想的であれば、南伊豆の固定点のキネマティック解析結果は、ばらつきもなくなるはずである。さらに、搬送波の波長が 20 cm 程度であるとすると、特に鉛直のばらつきが 10 cm 程度にあることから､ノイズやマルチパスに起因する誤差に加えて､解析でモデル化等で補正できる誤差が存在する可能性が十分にある。可能性としては､(特に４時間のうち短い時間しか見えていなかった）衛星の整数値バイアス推定誤差、電離層、大気の影響、そして、真鶴などの固定点の大気荷重、海洋潮汐荷重による動き等が考えられる。今後は、これらの誤差要因を詳細に解析し、キネマティックＧＰＳの測位誤差を軽減することが、海洋調査その他にとって重要であると考えられる。

参考文献

1　Colombo, O. L., Long-Distance Kinemaic GPS, in "GPS for Geodesy 2nd Edition", edited by. P. J. E. Teunissen and A. Kleusberg, Springer, 1998

2　藤田雅之・浅田　昭・冨山新一、相模湾における長距離キネマティックGPS測位試験、水路部技法第17号、海上保安庁水路部、平成11年２月

3　平成９年度研究成果報告書　海上保安庁　平成10年10月

4　平成10年度研究成果報告書　海上保安庁　平成11年10月