

GEONET のルーチン解を基盤とする GPS 統合解析について

An integrated GPS analysis technique based on the routine solutions of GEONET

畑中雄樹 (国土地理院)

Y. Hatanaka (Geographical Survey Institute)

はじめに

GEONET の整備により、日本列島の地殻変動を約20kmの均一な空間分解能と精度で観測する体制が整えられ、その運用が10年以上の長期にわたり維持されてきたことにより、単に地震・火山等の個々のイベントに伴う地殻変動を明らかにするだけでなく、より長期的・広域的な地殻活動の性質を捉えることが可能になってきた。一方、火山周辺の地殻変動や歪み集中帯等のより小さな空間スケールの地殻変動を精密に捉えるためには、GEONETでも空間分解能が不足しており、GEONETを補完するGPS連続観測網(点)の展開や、繰り返し観測がより稠密に行われている。現状では、それらのデータはGEONETと別のシステムで独立に解析されており、解析戦略や固定点の扱い等に違いがある。このことは、独立な解析結果による互いの信頼性評価の手がかりを与える反面、個別の解析結果をGEONETによる全国的な広域の地殻変動情報と合わせて評価する際には、解の品質の一様性に疑問を残すことになる。

本研究で提案するGPS統合解析処理は、GEONETのルーチン解を基盤としてこれら地域的な観測網のデータを統合処理する技術である。解析結果の基準の統一化を図ることにより、解析結果間の座標変換や網の歪みの補正などの特段の工夫をすることなく相互比較ができるようになり、広域から局所までの地殻変動情報を一貫した基準で統一的に扱うことが可能となるだろう。

統合処理の対象とするGPS観測点は、1周波/2周波受信機による連続観測または繰り返し観測による任意の観測点(以後、対象点と記す)とし、基盤とするGEONETのルーチン解は、最終解(F3解)、速報解(R3解)、迅速解(Q3解)とする。本講演では、手始めとして、2周波受信機の観測点を想定し、統合解析の基本戦略および対流圏遅延量の補正手法について検討を行う。

統合解析戦略(2周波データ観測が得られる場合)

GEONETのルーチン解析(第4版)においては、網全体の構造を階層化して分散処理を行い、座標解および大気遅延解(天頂方向および勾配)について、上位の階層を拘束して下位の階層を推定することによって段階的に解を求めている。最下位の階層は、空間的に均等に配置する結合ノード点を中心とする放射基線のクラスターとなっており、このノード点が上位階層との結合ノードの役割を兼ねることにより、上位階層で決定された座標値および大気遅延パラメータが最下位階層の拘束条件として適用される仕組みになっている。ルーチン解析では、まず基線毎にアンビギュイティーの整数化を行う。その後、各放射基線クラスターについて、基線間の相関を考慮して、整数化されずに残されたアンビギュイティーの整数化を試みたうえで、座標値および対流圏遅延パラメータ推定を行い、正規方程式を出力する。

対象点において2周波の観測データが得られる場合は、統合解析においてもルーチン解析戦略の大部分がそのまま適用できる。対象点をF3解に結合するには、基線の結合形態がルーチン解析と同様となるよう、最短距離にあるノード点との間で基線を組んで解析するのが合理的である。ノード点の座標値と大気遅延パラメータについては既にルーチン解が得られているので、基線解析においては、これらの値を固定して、対象点の座標値および対流圏遅延パラメータを推定する。衛星軌道情報、位相特性モデル、海洋潮汐荷重変形、マッピング関数等、種々の設定はF3解析と同一のものを用いる。(ただし、対象点については、海洋潮汐荷重変形モデルや位相特性モデルの情報を別途与える必要がある)。

この戦略は、ルーチン解析において末端階層の観測点を解析する際の手法とほぼ同じであるが、一部条件の異なる点がある。ルーチン解析においては、一つのノード点に対して多数の放射基線があるのが普通なので、基線間の相関の考慮や、残されたアンビギュイティーの整数化が機能する。しかし、統合解析の場合には、対象点の数や分布がそのような条件を満たすことを、一般的には期待できない。この点において、ルーチン解析に比べて条件がやや不利になる可能性がある。

統合解析結果と F3 解の整合性の評価

様々な長さの基線が含まれる C5 クラスター（中国地方～南西諸島地域）を対象に、ノード点以外の観測点を対象点と見立てて、基線毎に前述の手法による統合解析を実施し、得られた座標解と F3 解の整合性を評価する。解析対象期間は 2008 年の 1 年とし、解析ソフトにはルーチン解析と同じ Bernese ver.5.0 を用いる。また、より簡便な方法として、ノード点の大気遅延パラメータをソフトウェアで設定されるデフォルト値に固定した場合の解析も行い、大気遅延推定手法の比較評価も行う。

図は、F3 解との座標値の差のバイアスおよび差の標準偏差を対象点毎に算出し、ノード点からの距離を横軸にプロットしたものである（例として、基線長成分のみを示す）。F3 解の大気遅延パラメータを適用したケースは、F3 解との間の座標差にバイアスはほとんど見られず、一部例外はあるものの、座標差の標準偏差も安定している。観測点による座標差の統計値（表）も、座標値のばらつきに比べて十分に無視できる大きさである。したがって、ノード点の大気遅延量に F3 解を適用することにより、基線間の相関の考慮できない、単基線の解析であっても、F3 解との整合性の高い解が得られることがわかる。

一方、ノード点の大気遅延パラメータにデフォルト値を適用した場合の結果には、基線長に比例するバイアス（スケール差）が見られ、その大きさは 100km の基線に対して 1mm(10ppb)を越える。ノード点からの距離が数 10km 以内であれば、デフォルト値を用いても大きな差にはならないが、一般的には F3 解の値を適用すべきである。

Q3 解への結合を想定した 6 時間セッションでの結合処理に関しても、2009 年 6 月の 1 ヶ月間のデータを用いて同様の評価を行った。座標差の統計値（表の下 2 段）は 24 時間セッションの場合に比べて大きいですが、座標値のばらつきに比べて無視できる大きさであり、24 時間セッションの場合と同じ結論が得られた。

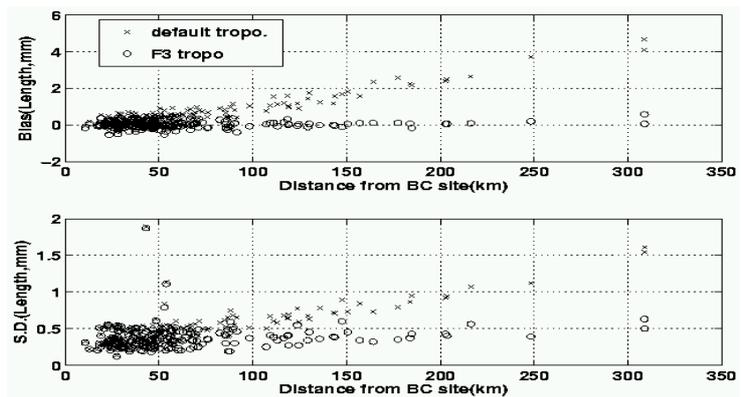


図 観測点毎の統合解析結果の F3 解からの差のバイアス（上）と標準偏差（下）（基線長成分）。ノード点の大気遅延パラメータを標準大気モデルに固定した場合（×）および F3 解に固定した場合（○）。

表 全観測点の座標差の統計（単位:mm）

セッション長	項目	基線方向	直行成分	鉛直成分
24 時間	バイアスの RMS	0.2	0.3	1.0
	SD の平均	0.5	0.4	1.6
6 時間	バイアスの RMS	0.4	1.0	1.9
	SD の平均	1.5	1.3	6.0

おわりに

今回、2 周波データが得られる観測点を対象として、GEONET のルーチン解への統合手法を検討した。対象点と最短距離にあるノード点との間で基線解析を行い、ノード点の座標値と対流圏遅延量パラメータをルーチン解に固定することにより、ルーチン解とほぼ同等の座標解が得られることがわかった。なお、本手法によって座標値だけでなく大気遅延パラメータもルーチン解に整合した結果が得られるので、GPS 気象学研究への応用も可能である。

今後、1 周波受信機を用いた観測点を対象とする場合に必要な、電離層遅延補正手法について検討を進める。