

キネマティック GNSS 時系列に含まれる微小信号の抽出

Signal extraction from kinematic GNSS time series

#宗包 浩志¹

1:国土地理院

Hiroshi Munekane¹

1: Geospatial Information Authority of Japan;

1. はじめに

キネマティックGNSSとは、GNSS観測の観測エポック(通常1~30秒)毎に観測局の位置を推定する技術である。国土地理院の電子基準点定常解析の解析戦略でもあるスタティック測位に比べ、観測エポック毎に観測局の位置のダイナミックな変動を記録できるというメリットがある。

キネマティックGNSSを地球科学へ応用しようという試みは古くから行われてきた。初期においては、平原らが、キネマティックGNSSを用いて地震動を捉えることを企図し、予備実験としてによる振動台を用いたGPS地震計の実証実験(Hirahara et al., 1994)や、畑中らによる北海道東方沖地震のキネマティックGPS解析(Hatanaka et al., 1994)など、日本の貢献も多かった。その後、LarsonらによるDenali地震の地震波の検知(Larson et al., 2002)、宮崎らによるキネマティックGPSによる十勝沖地震の断層すべりの推定(Miyazaki et al., 2004)などが行われ、キネマティックGNSS時系列の「地震計」としての利用が確立された。さらに、近年では、リアルタイムでのキネマティックGNSS時系列から地震断層の即時推定を行うことで津波などの被害軽減を図る、という社会実装を見据えた研究も進んでいる(Ohta et al., 2012; Kawamoto et al., 2017)。

しかしながら、キネマティックGNSSはスタティック測位に比べて誤差が大きい、という弱点があり、その対象は、比較的大きな変動が期待される現象に限定されていた。そこで、キネマティックGNSS時系列にさまざまな処理を加えることにより、その中に含まれる微小な信号を抽出しようと試みたのが、受賞対象となった一連の研究である。

2. 微小信号の抽出

2-1. EOF(Empirical Orthogonal Function; 経験的直交関数法): 東北地方太平洋沖地震

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、Mw9.0の大地震が発生した後、大規模な余震や、大きな余効変動が発生したため、国土地理院で行われている電子基準点の定常解析ではそれぞれの寄与を分離することができなかった。キネマティックGPS時系列を用いて分離を試みた結果、本震と一部の余震の地殻変動を分離することには成功したものの、誤差が大きかったため、地震間の余効変動および一部の余震については分離することができなかった(Nishimura et al., 2011)。そこで、これらの地殻変動が広域的であることを利用し、キネマティックGNSS時系列を空間パターン(空間関数)と、その時間変化(時間関数)のモード和に分解するEOF法を用い、地震に関連する地殻変動の抽出を行った。その結果、本震、余震およびその間の余効変動の抽出および対応するすべり分布の推定に成功した(Munekane, 2012)。

2-2. 他データとの相関: 電子基準点の日射による日周変動

古いタイプの電子基準点は日射による日周運動をすることが知られている(なお、現在においては電子基準点を二重管に改造することによりその問題は解消している)。そこで、日周運動の影響の定量的な評価を試みた。

電子基準点には2軸の傾斜計が内蔵されており、水平面における傾斜が精密に計測されている。しかしながら、その値をアンテナ位置における変位に焼きなおすためには仮定が必要である。電子基準点が一様に傾斜するのであれば、傾斜値に電子基準点の高さを乗じることでアンテナ位置の変位を得ることができる。しかしながら、傾斜が一様であることは一般的に成り立たない。そこで、電子基準点の高さに相当する比例係数について、キネマティックGPSによるアンテナ変位と傾斜値から推定したアンテナ変位が整合するよう、時間依存インバージョン(Segall and Matthews, 1997)で推定するという手法を開発した。(Munekane, 2013)。その結果、日周運動を高精度に定量化することに成功し、日周運動の大きさと日照時間との関係、日周運動の卓越周波数など興味深い知見を得ることができた。

2-3. スタッキング: 三宅島2000年噴火時の傾斜ステップ/長周期微動イベント

2000年に発生した三宅島噴火においては、7月上旬から8月中旬までのカルデラ形成期において、ステップ状の傾斜変化と、周期50秒ほどのパルス状長周期微動が同期して発生するという特異なイベントが観測された。そのメカニズムについては、傾斜変化および長周期微動それぞれの立場から異なったモデルが提唱されており、統一的な解釈がなされていなかった。

当時三宅島には、国土地理院、防災科研や大学などが設置したGPS観測点が多数存在しており、そのキネマティックGPS時系列から独立に第三のモデルを構築することを試みた。イベントに伴う変位は、最大のものでも高々1cm程度であり、ノイズの大きなキネマティックGPSで捉えるのは困難であったが、イベントは40回以上繰り返し発生し、そのほとんどが自己相似的である、という特徴を有していたため、変位をスタッキングすることにより、平均的な変位時系列を求めた。その結果、イベントに同期した変位だけではなく、イベント後に変位が指数関数的に回復していくという特徴的な過程も捉えることができた。その結果、本イベントが、長周期微動に基づく解析で提案された通り、火道内ピストンがマグマだまりに落ち込むことにより発生するものであること、同時期に観測された全島的な収縮も同じマグマだまりの収縮で説明できること、などの知見を得た(Munekane et al., 2016)。

3. キネマティックGNSSの今後

以上のように、ノイズが大きいといわれるキネマティックGNSSにおいても、工夫次第で重要な地球科学的なシグナルを抽出できることが分かった。前述の通り、キネマティックGNSSの活用は、比較的大きな変動が期待されるものに限定されていたが、今後は微小な変動しか期待できない現象にも対象が拡大していくものと期待される。特に、数百秒~1日の周波数帯は、地震計でもスタティック測位でも計測が困難な、固体地球観測の穴であったが、キネマティックGNSSはその穴をふさぐ新たな観測手段となりうるものであり、一層の活用が期待される。それを後押しするため、誰でも簡単にキネマティックGNSSを使えるように、電子基準点のキネマティックGNSS時系列を整備するための研究をすすめている。