

津波予測支援のための GNSS リアルタイム解析に関する研究（第 8 年次）

実施期間	平成 23 年度～平成 30 年度
測地観測センター電子基準課	阿部 聡 大橋 和幸
測地観測センター	川元 智司

1. はじめに

測地観測センターでは、平成 23 年から東北大学大学院理学研究科との共同研究の下、電子基準点リアルタイム解析システム（以下「REGARD」という。）の開発を行い、平成 28 年度から運用を開始している。REGARD は、電子基準点のリアルタイムデータを用いて各観測点の 1 秒毎の変位を常時計算し、おおよそ 10cm 以上の永久変位又は M7 を超える規模の地震が発生した際に、各電子基準点の変位量から断層モデルを推定し、地震の規模を推定するシステムである。運用開始時から今日まで動作事例を蓄積し、誤検知を防ぐよう改良を重ねてきた。近年、REGARD の解析結果は地震発生後の地殻変動量の確認（速報）に利用されており、平成 30 年に発生した大阪北部地震や北海道胆振東部地震では、変動の有無を速報として手動でホームページから公開した。しかし、災害発生時に人手を介してホームページに掲載しては公開が遅れてしまう。そこで、休日や夜間に地震が発生した場合でも迅速に解析結果を公開できるよう、自動公開のためのシステム開発を行った。一番の課題として、変動量の自動抽出方法が挙げられる。正確な検出を行えるようにするため、過去の地震データを用いて変動量自動抽出手法の考案及び評価を行ったので、結果をここに報告する。

2. 研究内容

REGARD 結果の自動公開ページには、地震発生後約 10 分程度で REGARD の結果の一つである変動ベクトル図と、電子基準点に変動が確認されたかどうかの情報を表示するようにした。しかし、GNSS 測位の結果は常に安定しているわけではない。観測中に衛星補捉数の減少やパケットロス等が生じることで、誤った整数解が選択され測位解が跳ぶミスフィックスの発生をはじめとしてしばしば異常な結果も得られる。GEONET 定常解析のような後処理解析ではこのようなデータも補正したり除外したりすることが可能であるが、リアルタイム解析では除外することが難しい。しかし、震央近傍で異常な結果が得られた場合、実際は変動がないのに変動が発生したと誤認識してしまうことになり、これは避けるべき事象である。そこで、今回は異常値判定の手法を考案し、評価を行った。

3. 得られた成果

震央近傍の地域では地震に伴う最大の地殻変動が発生する可能性が高いことから、震源情報（緯度、経度）に基づき、震央に最も近い電子基準点を抽出し、変動量を抽出することとした。REGARD では固定点を 3 点用意し、それぞれ独立に相対測位を実施しているため、1 つの地震に対して 3 通りの変動量が得られる。まずは震源から近い順に、3 通りの変動量を比較することとした。1 つ目の判定基準としては、まず 3 通り全てで 5cm 以上の変動が確認されているものを有効と判断することとした。2 つ目の判定基準は、測位解の状態を見ることとした。測位結果には衛星から受信機までの距離のバイアスを整数値で求めた精度の高い解である fix と、実数値で求めた精度の低い解である float が存在する。両者が切り替わるタイミングでは座標値が跳ぶ事があるため、変動量計算に用いた期間において fix と float の切り替わりがあるかどうかを判定し、切り替わりがない測位解のみ有効と判断することとした。さらに、3 通りの測位解のうち 2 つ以上の測位解が有効と判断された変動量を採用すること

とした。

上記 2 つの判定アルゴリズムを作成し、REGARD 運用開始以後に地殻変動が確認された、平成 28 年熊本地震及び平成 28 年鳥取県中部地震の 2 例について自動判定を行った。結果を表-1 に示す。

表-1 地殻変動量が確認された地震に対する自動判定の結果

イベント	後処理の結果		自動判定の結果					
	観測点	変動量	No.	観測点	震央距離	変動量	fix/float 判定	採用
熊本地震	長陽	98.0 cm	1	熊本	6 km	75 cm	2 例有効	○
			2	城南	11 km	22 cm	3 例有効	
			3	長陽	20 km	97 cm	2 例有効	
鳥取県中部地震	羽合	7.1 cm	1	羽合	11 km	7 cm	3 例有効	○
			2	鹿野	15 km	2 cm	2 例有効	
			3	中和	18 km	3 cm	2 例有効	

2 つの地震は共に「有効な変動あり」と判定されたが、熊本地震では最大の変動量が確認された「長陽」ではなく「熊本」が採用される結果となった。これは、震源から近い順に判定を行っているためである。そこで、熊本地震の場合においては変動量が最大である「長陽」が採用可能となるよう、「内陸地震では震央から半径 30km 以内の点の中から最大の変動量を抽出する」という条件に変更することとした。海域での地震の場合は今までどおり震央から最も近い観測点から判定を行うこととした。

以上の判定基準を用いて、平成 30 年 1 月から平成 31 年 2 月までに REGARD が動作した全ての地震 1,007 件に対して自動判定結果の評価を行った。上記期間の後処理解析の結果、5cm を超える変動が確認された地震は 0 件であったため、全ての地震に対する自動判定の結果が「変動無し」となることが望ましい。しかしながら、判定の結果 1 例の変動を検出した。平成 30 年 10 月 4 日 17 時頃に発生した地震の際、震央から最も近い電子基準点「串間 2」において、地震発生の前後で連続した座標値の変化が認められ、6cm の変動量が検出された。地震による変動は長くとも数秒で急峻な変化をすることが期待されるため、連続した座標値の変化は地震によるものではないと判断した。

このような事例を除外するためには、変動時系列の微分を計算することが最良と考えられる。そのような対応を検討しつつ、引き続きリアルタイム処理での除外方法を模索したい。

4. 結論

平成 23 年から開発を開始した REGARD は平成 28 年から運用フェーズに入り、継続的にシステム調整を行ってきた。現在では地震発生後に地殻変動の有無を REGARD の結果を用いて速報的に判断しており、地震発生直後の状況把握に役立っている。一方で、平成 31 年 4 月から REGARD 結果の自動公開を開始し、変動量の有無についての自動判定を導入することとした。本研究では、自動判定方法を考案し、過去のデータで検証を行った上で改良を加え、誤検知が少なくなるようにした。今後は、より正確な判断がなされるよう、自動判定について引き続き改良を加えていきたい。