

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

高サンプリング GPS 観測・解析技術の高度化と火山観測への応用

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

ア. 宇宙測地技術

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア. マグマ上昇・蓄積過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

GPS を火山噴火過程・地震震源過程解析等に定常的に用いることのできる超広帯域変位計として利用するために、現在明らかになっている、以下の問題点を本課題の 5 か年の到達目標に設定する。

(1) 全時間帯域におけるシグナルとノイズ、パラメータ間の分離困難性

(2) 数時間スケールの時間帯域における気象ノイズによる座標値の擾乱。

(1) に関しては、日本では高精度の潮汐モデルが得られている。このことを利用して、GPS で観測されている潮汐を潮汐モデルと比較し、GPS 解析における誤差要因を詳しく調べることで、解析精度をさらに向上させることが可能と考える。すなわち、潮汐モデルをリファレンスとした客観的な精度評価手法の確立を行い、それに基づいた精度向上を目指す。目指す精度は、全ての時間帯域において潮汐モデルと観測値の 5 mm 以内での一致である。また、GPS による座標値時系列のノイズ低減のため、通常の GPS 解析では一般的ではない、気圧荷重による地表面変位の影響に関しても考慮した解析等を行い、精度向上を目指す。なお、GPS 以外の測位衛星 (GNSS) を解析に取り入れる事による精度向上も目指す。(2) は、座標値と気象ノイズ (大気遅延量) の同時推定がこの時間帯域では難しい事から生じる問題である。そのため数値予報モデルによる格子点値を先験情報とした大気遅延量の推定とその評価を行う。さらに、これらと平行して、本研究計画によって得られた知見を実際のデータで生かすため、桜島や岩手山等の火山地域において高サンプリング GPS 観測を行う。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては (6) 本課題の 5 か年の到達目標の (1) に示した潮汐モデルに基づくシグナル・ノイズの分離精度評価の手法の確立を行う。また (2) に示した数値予報モデルに基づく大気遅延量の推定手法の構築、およびその評価を開始する。さらに桜島・岩手山等での高サンプリング GPS 観測を開始し、データの蓄積を開始する。

平成 22 年度以降においては、平成 21 年度に開始した桜島・岩手山等での GPS 観測を継続して行い、安定したデータ蓄積に努める。また日本全国のデータに対して潮汐モデルに基づくシグナル・ノイズの分離精度評価を行い、その時空間的な不均質性を明らかにし、誤差要因の把握を進める。更に火山地域等、地形が急峻で数値予報モデルの適用が難しい地域における GPS 座標値の挙動の精査もを行い、GPS データに含まれるシグナルとノイズの分離を目指す。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

平成 23 年度は、3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震およびそれらの余震に対して平成 22 年度中に開発したリアルタイム GPS 時系列からの変位の自動検知および変位置推定アルゴリズム (RAPiD: Real-time Automatic detection method for Permanent Displacement) を適用する数値実験を主に行った。また同アルゴリズムを実運用することを想定し、地震等のイベントが生じていない期間にどの程度誤検知が生じるかの定量的な評価を行った。また実際のリアルタイム GPS 解析の精度を確かめるためにリアルタイムデータおよびそれらの解析環境の整備を行った。さらに推定されたリアルタイム GPS 時系列データの精度評価を行った。以下の各項目について詳細を示す。

(1) リアルタイム GPS 時系列に基づく永久変位の自動検知/推定アルゴリズム (RAPiD) の開発

平成 22 年度に開発を進めてきたリアルタイム GPS 時系列データから永久変位を自動的に検出する手法を、2011 年東北地方太平洋沖地震時の国土地理院 GEONET 1 秒サンプリング GPS データに対して適用し、精度評価を行った。その結果、東北日本全域における東向きの変位および沿岸地域の顕著な沈降を自動検知することができた。また変位置推定では、日座標値との比較から水平成分において 10cm 程度の精度で変位置推定が可能であることを示した。日座標値による変位には余効変動や余震等による地震時変動が別途含まれていることを考慮すると、リアルタイム処理で推定された変位置はほぼ正確に地震時変位を捉えていると考えられる。さらに推定された地震時変動場を説明する断層面推定を Matsuura and Hasegawa (PEPI, 1987) のインバージョン手法により逐次 (20 秒毎) 推定し、地震規模を迅速に把握する手法を開発した。その結果、地震発生後から 275 秒で M_w が 8.7 に到達することをほぼリアルタイムで把握可能なことが分かった (図 1)。また本震だけでは無く本震発生後の余震 (2011 年 3 月 11 日 15 時 15 分、茨城県沖地震 (M_w 7.7)) についても RAPiD により変位、変位置を自動検知および推定することに成功した。また暫定的ながらこちらも震源断層を準リアルタイムで推定可能であることを示した。これは、リアルタイム GPS データを用いることによって、地震発生後、極めて早い段階 (数分以内) でプレート境界型巨大地震 ($M7.5$ 超) の規模推定が可能であることを示す結果である。

(2) RAPiD アルゴリズムの精度評価および高度化

RAPiD アルゴリズムによってどの程度、正確に永久変位検知を行うことができるかを確かめるために、1 年間の時系列を用いて、永久変位が検知された時間帯、すなわち誤検知率を調べた。なおデータには国土地理院の電子基準点データ (30 秒サンプリング、2010 年 1 月から 12 月) を用いた。なお当該期間には大きな変位を生じる様な地震は発生していない。基準点に依存した誤差を軽減して一般的な傾向を見るために、基準点を適宜変えながら基線長 87 から 1010 km の 102 基線について解析を行った結果、誤検知率は平均で 0.25% であることを確認した。さらにこの誤検知率をより低減させるために、隣り合う観測点での変位検知情報を共有することで正確な地震時変位を検出するアルゴリズム (隣接観測点連携アルゴリズム) を開発した。これによって誤検知率を限りなく 0% に近づけることに成功した。

(3) リアルタイム GPS 解析環境の整備およびその精度評価

上記で述べたリアルタイム GPS 時系列に基づく変位自動検知アルゴリズムの実運用に向けて、実際に長距離リアルタイムキネマティック解析を行いつつ、変位自動検知を行うシステムのプロトタイプを開発した。一部解析結果に関しては WEB 上 (<http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/ohta/rtk/>) において準リアルタイムでの試験公開を開始している。またそれらのデータについて精度評価を行った結果、試験を行っている 8 基線 (秋田を基準点とし、東北地方太平洋側観測点を移動点とした解析、平均基線長 162km) におけるリアルタイム GPS 時系列の標準偏差の平均値は東西成分で 15mm、南北成分で 12mm、上下成分で 50mm となった。これは後処理での解析結果 (平成 22 年度成果) よりも僅かに精度が低い、こ

れは対流圏遅延等の座標値以外のパラメータ推定に起因するものと考えられ、今後の課題であり、数値予報モデル等を取り入れた解析の高度化が必要であると考えられる。

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Inuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, N. Umino, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (Mw 9.0), Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2011JB008750, 2012.
Kobayashi, T., Y. Ohta, S. Miura, H. Tsushima, R. Hino, T. Takasu, and H. Fujimoto, Rapid fault model estimation based on RTK-GPS and its application to near-field tsunami forecasting, AGU 2011 Fall Meeting, 2011 .
太田雄策, 小林竜也, 出町知嗣, 立花憲司, 佐藤俊也, 藤本博己, 三浦哲, 長基線リアルタイムキネマティック GPS 解析の連続実地試験とその精度評価, 日本測地学会第 116 回講演会, 2011.
小林竜也, 太田雄策, 三浦哲, 対馬弘晃, 日野亮太, 高須知二, 藤本博己, RTK-GPS データによる震源断層モデル即時決定 -近地津波予測の高精度化に向けて-, 日本地震学会 2011 年秋季大会, 2011.
Kobayashi, T., Y. Ohta, and S. Miura, Rapid determination of seismic fault model using RTK-GPS data, IUGG 2011 General Assembly, 2011 .
小林竜也, 太田雄策, 三浦哲, RTK-GPS データによる震源断層モデル即時決定の試み, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011.
小林竜也, 太田雄策, 三浦哲, 藤本博己, RTK-GPS 時系列に基づく地震時変位場の準リアルタイム推定 -東北地方太平洋沖地震への応用-, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011.

- (9) 平成 24 年度実施計画の概要：

[新規課題への移行部分](高精度リアルタイム津波予測システムの開発)

RAPiD アルゴリズムによって変位, 変位量の自動検知および自動推定をするためにはリアルタイム GPS 解析が欠測無く行われる必要がある。特に迅速な津波予測を必要とするような巨大地震が発生した直後には, 広域にわたって通信網が寸断される可能性がある。そこで, 観測点 - データセンター間の代替通信手段として衛星通信を使用することによるリアルタイム GPS データ入手のための基礎研究を実施する。

[既存課題での実施予定分]

これまでに開発を行ってきた RAPiD アルゴリズムの高度化を図る。具体的には平成 23 年度に開発した隣接観測点連携アルゴリズムを実際のリアルタイム GPS 時系列に適用し, その精度評価を行う。また, RAPiD アルゴリズムを火山帯の観測点データにも適用し, 火山活動に伴う地盤変動の検出が可能かどうかの数値実験を行う。また平成 23 年度に実施予定であった気象ノイズ低減のための数値予報モデルによる格子点値を先験情報とした大気遅延量の推定とその評価作業を開始する。

- (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

太田 雄策, 植木 貞人 他

他機関との共同研究の有無：有

京都大学防災研究所 (井口正人)

- (11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti@aob.geophys.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 太田雄策

所属 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

FAX : 022-264-3292

e-mail : ohta@aob.geophys.tohoku.ac.jp

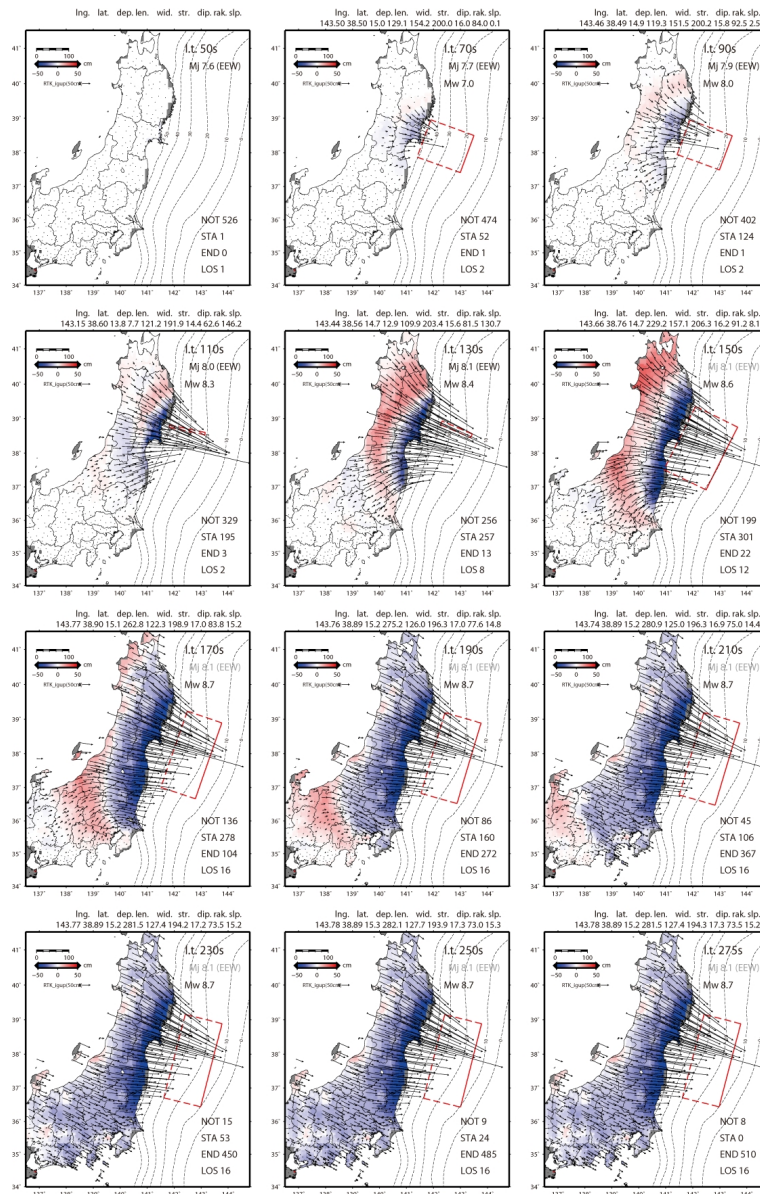


図.1.

RTK-GPS 時系列に対して RAPiD アルゴリズムを適用して得られた 2011 年東北地方太平洋沖地震の水平 (矢印), 上下変動場 (赤, 青色) のスナップショット. 図中赤矩形が得られた変動場から推定された震源断層モデル. 図中に気象庁緊急地震速報による M と本手法で推定される Mw を併記した.