

# アジア太平洋地域地殻変動監視

キーワード：アジア太平洋地域

PCGIAP

スマトラ島沖地震

地殻変動監視

宇宙測地技術

測地技術調整官

松 坂 茂

# アジア太平洋地域地殻変動監視

## 1. はじめに

アジア太平洋地域は、西はイラン、東はフランス領ポリネシアまで広がっており、テクトニック的にも地球上で最も活動的なゾーンを含んでいる。2004年12月のスマトラ地震とインド洋津波、2005年10月のパキスタン地震など多くの人命を奪った最近の大災害は記憶に新しいが、過去にも多くの地震・火山に関連した災害が多発している。ただし自然災害に対する備えや関心は、当然のことながら各国ごとに異なっている。日本のように地震が多発し深刻な被害を受けている国がある一方で地殻変動のほとんどない国もあり、また災害に対する取り組みは政治経済状態に大きく左右される。

しかし、スマトラ地震による津波の未曾有の被害を契機として津波警報システムなど国際協力による防災システムが構築されつつある。日本でも、防災科学技術研究所、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)などが中心となった取り組みが提案され実行に移されようとしている。国土地理院は、90年代半ば以降 GEONET の整備によって国内の地殻変動監視を充実させてきたとともに国連アジア太平洋地域地図会議(UNRCC-AP)のGIS基盤常置委員会(PCGIAP)の下、宇宙測地技術を活用して、主に各国の地図測量機関と協力してアジア太平洋における統一的な測地座標系の構築に貢献してきた。このプロジェクトの目的は、GISのための共通の基盤を作ることであり、宇宙技術によって可能になった世界測地系(ITRF)の地域的稠密化として実現するものであった。今回提案する「アジア太平洋地域地殻変動監視」は、PCGIAPで確立した共通の基盤を基礎とし、宇宙技術を利用した地殻変動観測システムを構築し、高速のデータ通信技術を活用しながら各国間で基本観測データ・解析結果・災害情報などを共有することによって、地域の防災・減災に貢献することを目指す新しい国際プロジェクトである。本講演では、PCGIAPの過去7年の歩みと成果を振り返りながら、「アジア太平洋地域地殻変動監視」にむけた国土地理院の取り組みについて今後の展望を述べる。

## 2. アジア太平洋地域測地プロジェクト

### 2.1 これまでの経緯

PCGIAP (Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and Pacific:アジア太平洋 GIS 基盤常置委員会)は、1994年北京で開催された第13回国連アジア太平洋地域地図会議において設立が決議されたもので、同地域の測量・地図作成機関の代表者をメンバーとしGIS基盤の発展とそれに関する諸問題について協力および協議するとともに情報・意見交換を行うことを目的としている。その後、1996年5月クアラルンプールで開かれた第1回理事会において、GIS基盤の様々な問題に対処するため4つの技術ワーキンググループが設置された。同年9月シドニーで開かれた第2回PCGIAP総会において、ワーキンググループ3(後に1)のアジア太平洋地域測地観測網の役割として、「アジア太平洋地域の空間情報基盤を構築するため地域にわたって高精度な測地観測点を設置し維持すること」が決議された。この決議はIAG(国際測地学協会)の活動であるAPSG(Asia Pacific Space Geodynamics Program:アジア太平洋宇宙測地プログラム)等にも支持され、複数字宇宙測地技術によるAPRGP(Asia Pacific Regional Geodetic Project:アジア太平洋地域測地観測プロジェクト)がスタートした。最初のキャンペーン観測は1997年10月に実施され、その後毎年観測が行われている。キャンペーン観測の概要は、

GPSの連続観測(少なくとも1週間、IGS点を含む)

SLR(1ヶ月間)

VLBI(24時間観測を1-2回)

DORIS(1ヶ月間)

となっている。

プロジェクトへの参加は 33 ヶ国, 46 機関, 観測点も 250 点以上に達している。観測データはオーストラリアが各国から収集・集約し, データベース化している。図-1 に観測点の配置を示した。

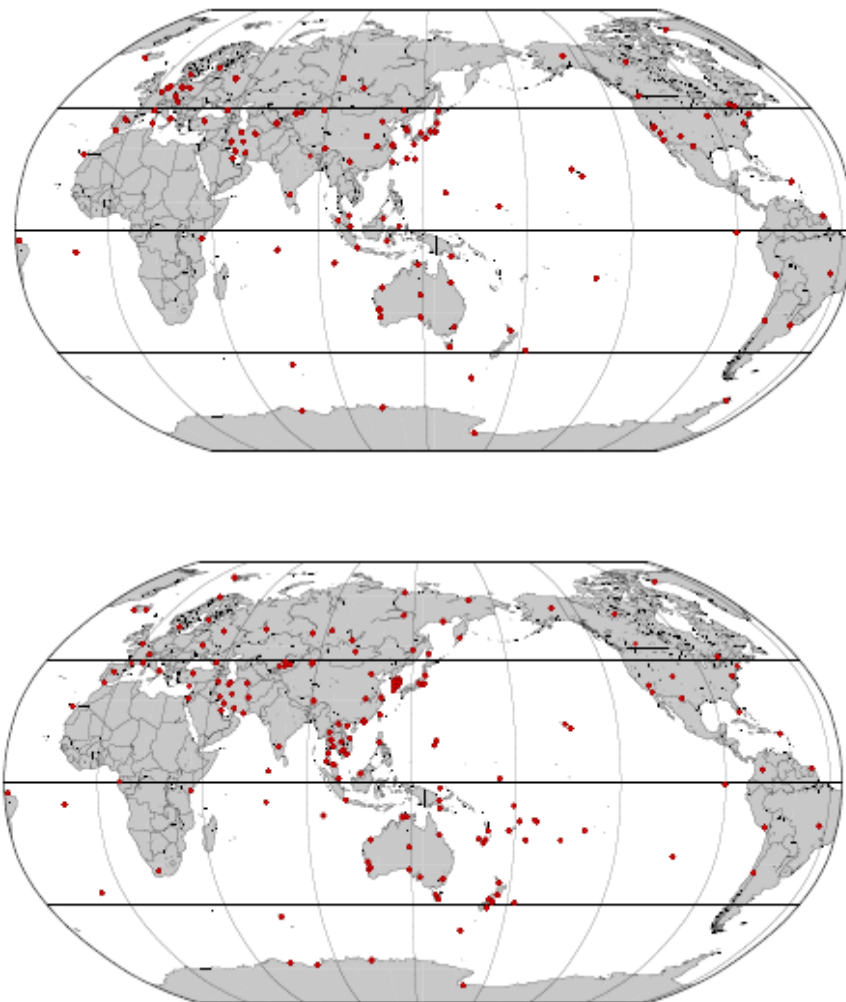


図-1 APRGPにおけるGPS観測点, 上: 1997年, 下: 2002年. (Dawson et al., 2004)

## 2. 2 成果

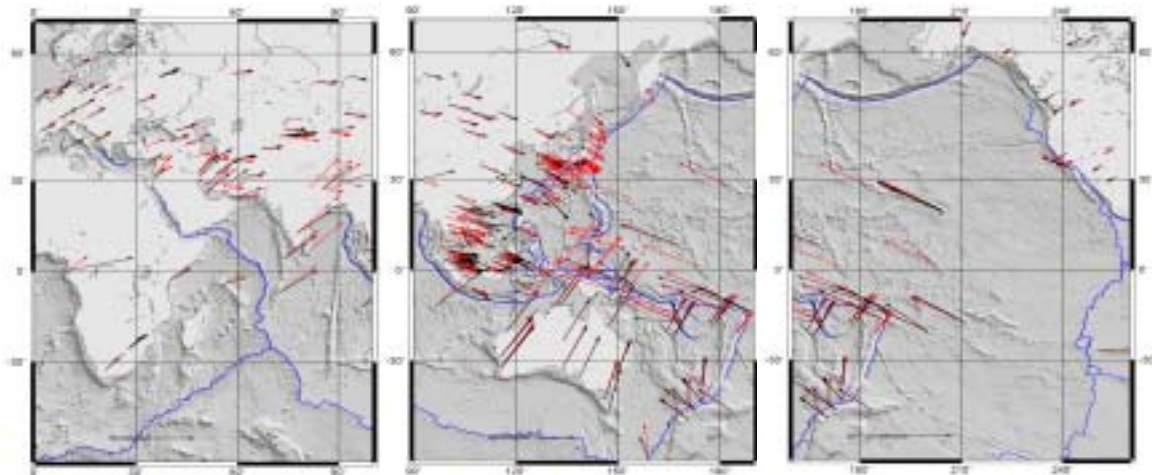
APRGPは2005年まで継続しているが, 2002年までのGPS観測をまとめたものがPCGIAPの報告 (Dawson et al., 2004)として出ているのでここに紹介する。

この報告は, 1日ごとにGPSの解析を行い, さらにそれらの解を複数年にわたって正規方程式レベルで結合し観測点位置と2000年1月1日における速度を求めたものである。GPS解析には, Bernese GPS Software Version 4.2, 複数年の解の結合にはNASA/Goddard Software SOLVEを用いている。各局位置の再現性を表-1にあげた。水平位置は10mm以下, 垂直位置は10-20mmという十分な精度で各観測点位置が決定されている。

また, 図-2に観測局の速度ベクトルを示した。

表－１ 各局位置の再現性

年	点数	日数	標準偏差 (mm)		
			東西	南北	上下
1997	116	20	2.2	3.6	6.8
1998	213	23	5.9	6.1	15.5
1999	261	26	10.4	6.0	22.7
2000	202	10	2.6	4.8	9.6
2001	248	20	6.9	4.3	12.7
2002	198	7	8.3	4.4	13.2



図－２ APRGP による速度ベクトル，黒：観測値，赤：NUVEL1A-NNR. (Dawson et al., 2004)

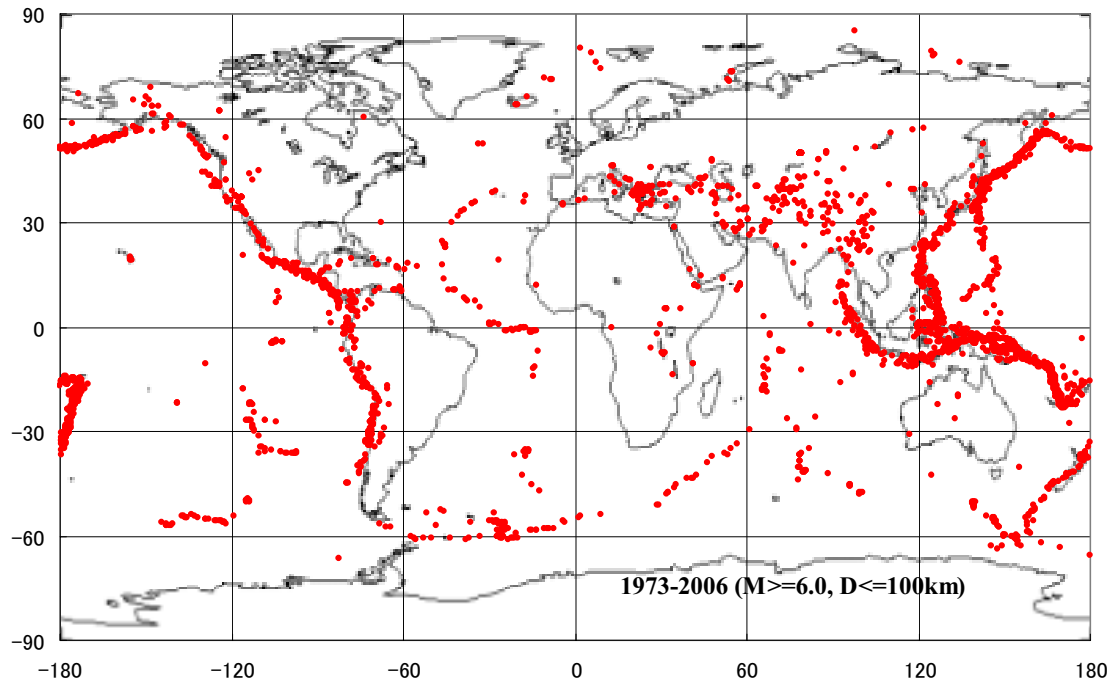
この結果をもとに各国においては PCGIAP 観測点を従来の測地網に組み込むことにより、各国ごとのローカルな座標系と ITRF との変換パラメータも導出可能となる。

### 2. 3 今後の課題と新しいプロジェクト

以上見てきたように ITRF の稠密化としてのアジア太平洋測地網の構築は、各国の協力を得て成功しており GIS のための共通基盤の提供という形ではその目的は達成されたといつてよい。ただし、測地基準としてはもう一つ、統一的な高さの基準が残っている。幾何学的には 3 次元の宇宙測地学的位置データを水平と垂直に分ければよいが、実用的にはジオイド（平均海水面）を基準とした高さ体系の統一が望まれる。そのためには、各国の重力網整備と結合、地域ジオイドモデルの構築、験潮所と GPS との結合などが必要である。

ところが、2004 年 12 月スマトラ沖で大地震が発生し、それによるインド洋大津波により 28 万人以上の犠牲者がでたことから、津波をはじめとして自然災害への取り組みが世界の注目を集めた。インド洋における津波警報システムの構築などに各国が資金を出すとともに、新たな地震計や験潮儀の設置等も進められている。測地学的側面からアジア太平洋地域における自然災害にどう対処するかについてはやはり日本における GEONET がモデルとなるだろう。ある程度の密度で配置された観測点の変動を連続的に監視することで地震や火山活動の特徴を捉え、将来の大災害に備えることができる。APRGP で築いた観測点を充実させ高速ネットワークによるデータ通信が可能となればアジア版 GEONET





図－4 1973年から2006年までの大きな地震の分布. マグニチュード6以上, 震源の深さが100kmより浅いもの.

### 3. 2 スマトラ島沖地震

2004年12月のスマトラ島沖地震は海側のインドプレートが陸側のプレートに沈み込む境界で起きた海溝型地震でプレート境界にたまった歪が開放されたものである。海溝型地震は、エネルギーの蓄積、地震前すべり、地震、地震後の余効変動というサイクルで起こると考えられており、測地データの蓄積により将来に大地震が起こる場所や規模の予測、発生可能性などを知ることができる。

スマトラ島沖地震を解析した結果を見てみよう(Jia et al., 2005)。図－5は、APRGPから計算されたアジア・オセアニア地域の定常的速度場である。スマトラ島西方において、インドプレート・オーストラリアプレートが沈み込んでいる。図－6は地震時の変動と破壊された断層位置を示したものである。また、図－7にマレーシア北部の西海岸にあるランカウィ島の変動を示した。この島では地震時に数10cmの変動が見られるが、地震後数ヶ月経ても変動が続いていることがわかる。このような余効変動が終わると定常運動（エネルギーの蓄積段階）に戻るのだが、さらに地震時に破壊された領域と余効変動領域が重なっていないことも明らかになりつつあり、海溝型地震のサイクルを決定するためには広域かつ継続的に観測を行うことが必要である。

### 3. 3 複数技術による変動監視

地殻変動監視にGPS連続観測は必須となるが、これで充分だろうか。アジア全体にGEONETのように平均間隔20kmでGPS連続観測網を設置することはできないだろう。VLBIやSLRは重要であるが連続観測というわけにはいかず、さらに観測局も限られている。基準座標系の維持、GPS解析の基準や結果のチェックといった関係で定期的な観測を行うことになるだろう。そこで注目されるのが、広範囲（数10km×数10km）に変動を検出することができる衛星合成開口レーダー（SAR）技術である。この技術は災害の全体像を把握するのに大きな威力を発揮しており、アジアでは現在のところ日本のみが先駆的に取り組んでいるが、将来的には各国が保有するべきものであろうと考えている。くわしくは

本資料の論文（飛田：人工衛星レーダー画像分析による災害全体像の把握）を参照して欲しい。ここでは、2005年パキスタン北部で起きた地震の地殻変動解析に利用した例をあげる（図-8）。この研究では欧州宇宙機関のSAR衛星データを用いたが、2006年1月に日本で打上げに成功した陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）には、地殻変動検出に有利な周波数帯を使ったSARセンサーが搭載されており国際的にも活躍が期待されている。

また、重力観測や験潮データなどは高さ方向の変化として地球内部の有益な変動情報をあたえてくれるため繰り返し観測とデータ蓄積を続けることが重要である。

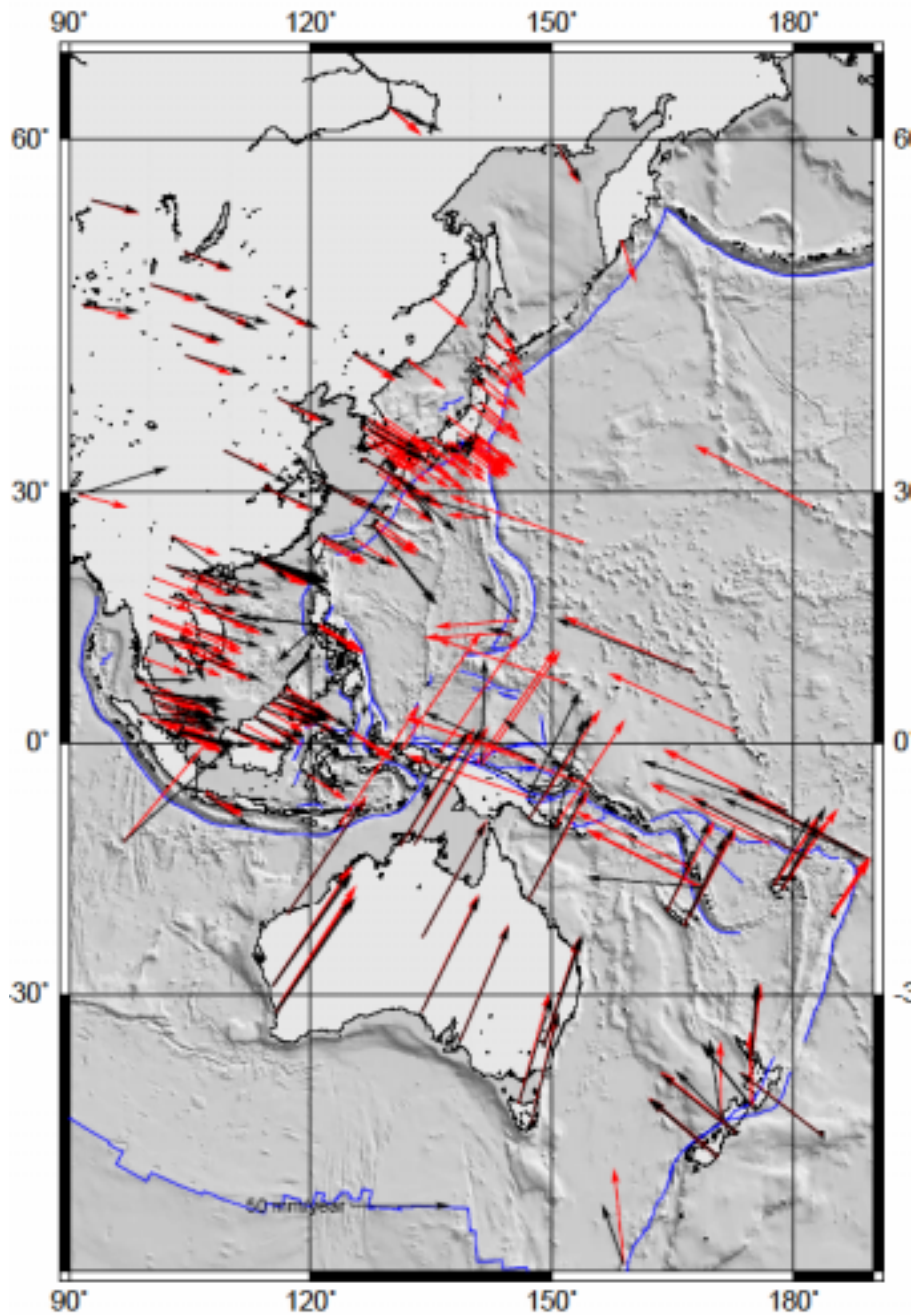


図-5 APRGPの解析による定常的速度場，黒：観測値，赤：NUVEL1A-NNR. (Dawson et al., 2004)

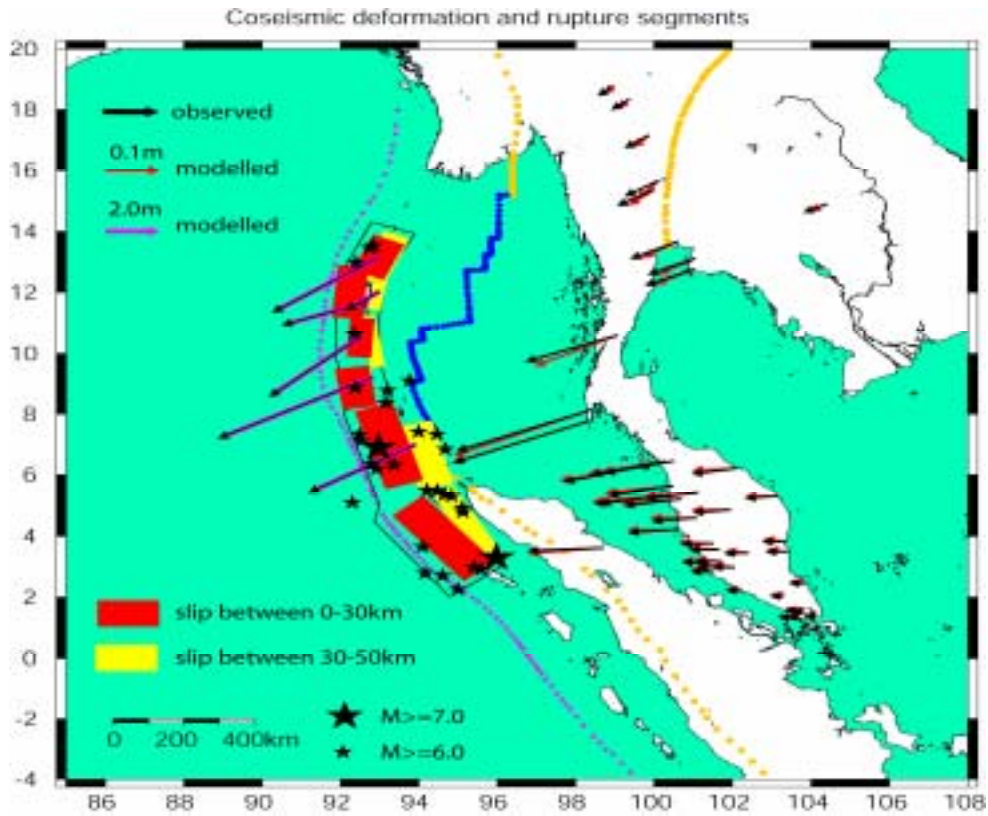


図-6 地震時の変動と断層モデル. (Jia et al., 2005)

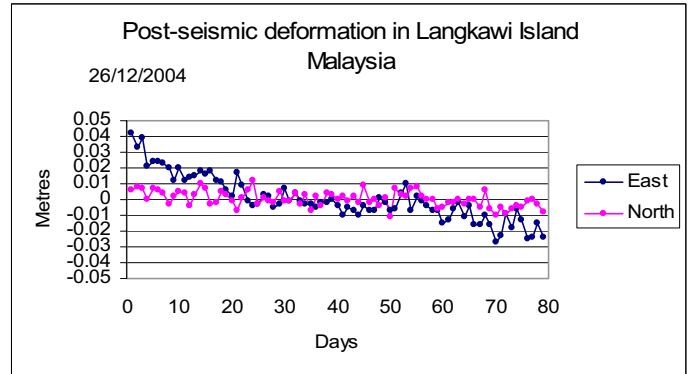
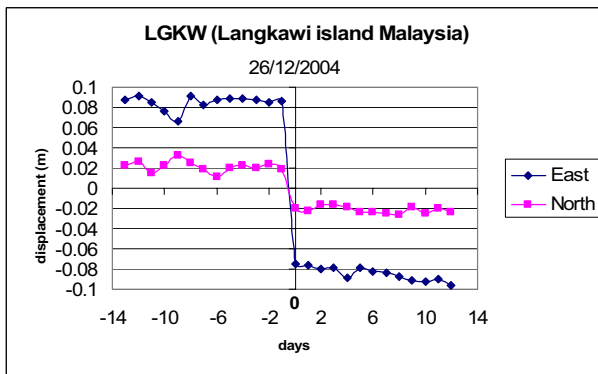
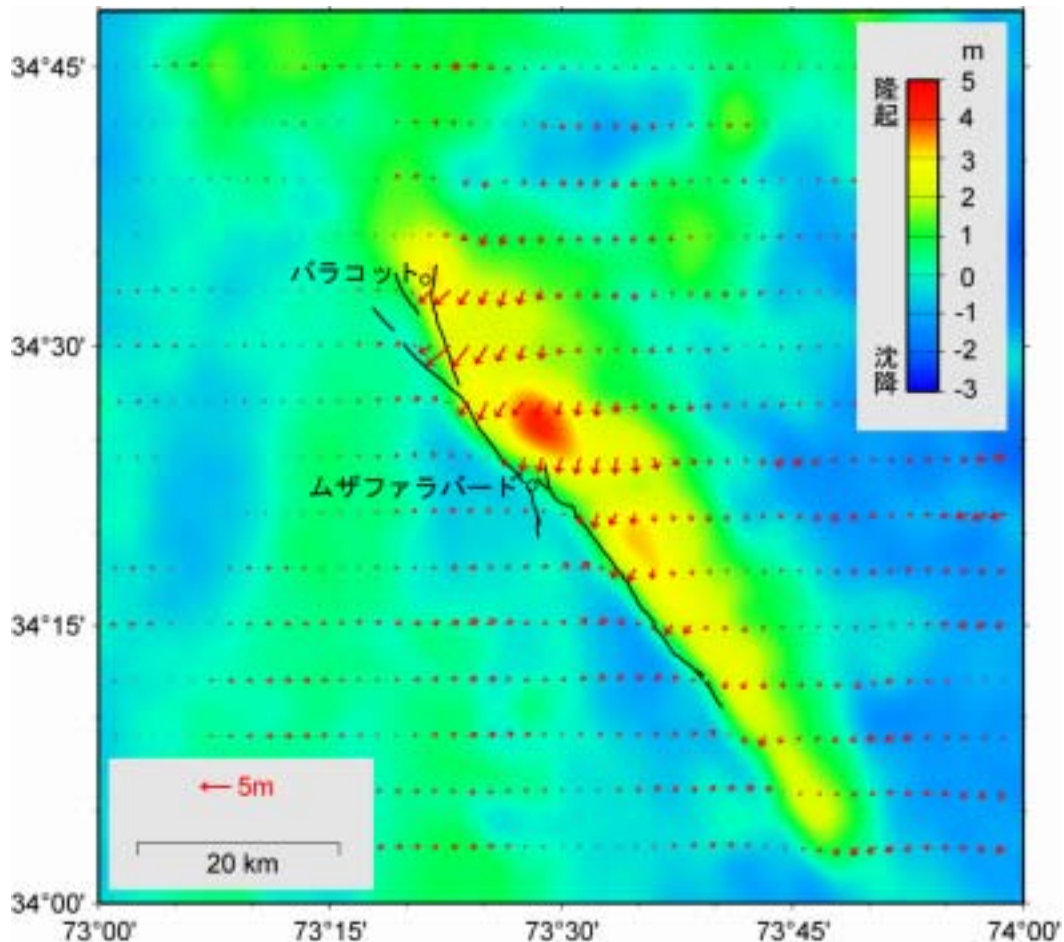


図-7 ランカウィ島（マレーシア西海岸）の変動，左：地震時，右：余効変動. (Jia et al., 2005)





図－8 SAR 画像分析により推定した地殻変動三次元成分の分布図。水平は矢印，上下は色で表示。黒線は活断層線。（飛田他，私信，2006）

#### 4. アジア太平洋地殻変動監視に向けて

今年度は，9月に第17回国連アジア太平洋地域地図会議がタイのバンコクで開催され，第12回PCGIAP総会も同時に開かれる予定である。プロジェクトの第一歩として総会において新しい測地プロジェクトを提案し，各国の了承を得て決議されることが目標である。このためPCGIAPで先導的役割を果たしてきたオーストラリアやインドネシア等の関係者と協議を重ねている。

また，他のプロジェクトとの協力では，特に防災科学技術研究所が中心となっている DAPHNE（アジア太平洋地域における国際地震火山観測に関する調査研究プロジェクト）と目的を同じくしており，地震火山観測の DAPHNE，地殻変動の当プロジェクトとして緊密な連携を取っていく予定である。また，JAXA は，Sentinel-Asia（アジアの監視員）プロジェクトとして各国の宇宙機関と協力して宇宙からの監視による災害情報共有プログラムをスタートさせており，将来的に協力関係が確立できれば幅広い情報・技術を共有でき，アジア太平洋地域の防災プログラムがさらに充実したものとなるだろう。

#### 5. 終わりに

アジア太平洋地域における測地観測について現在までの経緯，今後の構想を述べた。特に新しいプロジェクトは国土院がリーダーシップをとって進めていくという構想であり，同地域の防災・減災に大きく貢献できるものと考えている。このような事業は，宇宙測地技術による国際観測だけでなく，観測データや情報の交換，災害時のすばやい国際的対応など技術移転・体制の確立が必須であり，短期

間で完遂することは難しいが、これまでに築き上げた各国との技術的，人的協力を礎としながら 10 年後の完成を目指して，このプロジェクトを成功させたい。

#### 参 考 文 献

- Dawson J., Luton, G., and Govind, R. (2004) : Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and the Pacific, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 GPS Campaign Analysis, PCGIAP Report.
- Jia, M., Luton, G., Zhao, S., Govind, R., and Dawson, J. (2005) : Displacement Field and Fault Model of the 26 December 2004 Sumatra Earthquake Revealed by GPS, Dynamic Planet 2005, Cairns, Australia, 21-26 August 2005.
- 日本測地学会編 (2004) : 日本測地学学会創立 50 周年記念 CD-ROM テキスト, 測地学.