

2.3 地殻変動観測による地殻活動モニタリング

2.3.1 海底地殻変動

(1) 調査観測の内容

(a) 課題 地殻変動観測による地殻活動モニタリングに関する研究

(b) 担当者 東北大学大学院理学研究科 教授 藤本博巳

(c) 調査観測の目的

バックスリップが大きいと予想される地域に海底地殻変動観測基準局を新たに設置して、GPS音響結合海底精密測位観測の問題点の解明と精度向上、および地殻変動の現状把握を図る。

(2) 平成14年度の成果

(a) 調査観測の要約

本年度はH15年度に予定しているGPS・音響海底精密測位観測の準備と、既設の海底局を用いた海底精密測位観測、および海底局の設置状況の観察と回収・再設置を目標とした。音響精密測距装置（海底局）とGPSジャイロの機能を備えたキネマティックGPS受信装置を導入し、陸上試験観測を行い、H15年度の観測の準備を完了した。さらにGPSアンテナを取り付けてVLBIアンテナを動かして、長基線キネマティックGPS測位の精度評価を行う実験も実行できた。しかし二つ目の目標である既設の海底局を用いた海底精密測位観測はほとんど実行できなかった。3航海でのべ約10日間の観測を計画したが、約1日間という短期間の航海を除きいずれも台風に襲われほとんど観測時間が得られなかった。三つ目の目標は達成された。厚い堆積層に覆われた三陸沖の太平洋プレート上に2001年7月および2002年7月に設置された海底局を観察し、海底局のFRPの台が堆積層の中に1-2cm程度しか沈まず、極めて安定していることが確認できた。また海底局を交換して海底精密測位観測を継続する実験も実施した。

(b) 三陸沖海底における海底地殻変動観測

1) 調査観測の実施方法

GPS・音響海底精密測位観測の準備

・音響精密測距装置（海底局） 4台購入

仕様： ガラスの耐圧球、最大設置水深 6000m、最大計測距離 15 km

製造元： カリフォルニア大学スクリプス海洋研究所

試験： San Diego の音響試験水槽（平成 15 年 1 月）

東大地震研の水槽（平成 15 年 3 月下旬）

・GPS／音響海底精密測位装置の海上局の一部改造

MC-4 3軸姿勢データ計測ユニット購入

2周波GPS受信機×4ユニット(同一筐体)

RTKによる方位角(0.004/L rad. RMS)、ピッチ・ロール角
(0.008/L rad. RMS)計測+搬送波位相収録

海域観測

- ・岩手丸(岩手県)航海(平成14年6月)
釜石沖サイトで約半日の海底測位観測
- ・淡青丸(東大海洋研)航海(平成14年7月)
海溝海側サイトに3台の海底局設置(地震研)、台風接近で避難
- ・かいいい(JAMSTEC)航海(平成14年7月)
海溝海側サイトで設置済み海底局の設置状況の観察と回収・再設置作業
台風接近で予定変更
- ・海洋(海上保安庁)航海(平成14年10月)
海溝海側のサイトで約半日の海底測位観測、台風接近で避難

2) 調査観測の成果

我々が2001年に宮城県沖の海溝海側のサイトにおいて行った海底精密測位実験において、350kmという長基線のキネマティックGPS測位の再現性は2-3cmであることを示した(三浦ほか, 2002a)が、このような場合にシステムティックな誤差があるのではないかという懸念があった。そこでGPSアンテナを取り付けてVLBIアンテナを動かして、長基線キネマティックGPS測位の精度評価を行う実験を行い、懸念される誤差はないという重要な結果を得た(Miura et al., 2002, 三浦ほか, 2002b)。沈みこみ帯の大部分は厚い堆積層に覆われているので、そこに設置した海底局の姿勢がどの程度安定しているかということも、GPS音響結合海底精密測位において解明すべき問題点の一つであった。2002年7月に無人探査機「かいらぎ」を用いて、厚い堆積層に覆われた三陸沖の太平洋プレート上に2001年7月および2002年7月に設置された海底精密測位用の海底局を観察することができた。海底局のFRPの台が堆積層の中に1-2cm程度しか沈まず、水平位置は極めて安定していることが確認できた(図1)ことは重要な成果である(Fujimoto et al., 2002a, 2002b; 藤本ほか, 2002)。また古い海底局から約4mの位置に新しい海底局を設置し、相互の位置を計測した後に古い海底局を回収する作業も実施できた(藤本ほか, 2003b)。今回の作業では相互の位置計測の精度は10-20cmであるが、上から写真を取ることで、これを1-2cmの精度まで向上させることはできそうである。海底局を交換しても海底精密測位観測を継続できるという意味で、この実験の成果も重要である。

3) 結論ならびに今後の課題(今年度目標の達成状況と課題, 対策等)

今年度の主たる目標であったH15年度の海底精密測位観測に向けた準備は完了したといえる。そのほかに、釜石沖の海溝陸側および宮城県沖の海溝海側に設置済みの海底局(Fujimoto et al., 2001; 藤本ほか, 2003a)を用いた海底精密測位観測を計画

していたが、相次ぐ台風接近のために、まともな観測はできなかった。10月の海洋の航海はともかく7月には台風が3つも接近し、5日間も海底測位観測を計画していた淡青丸航海がほとんどつぶれたことは予想できないことであり、やむを得なかった。対策としては十二分の航海日数を確保することであるが、現状では難しい。淡青丸の航海に続いて実施された「かいいい」の航海も台風で中断させられたが、「かいこう」による海底局の観測、回収・再設置ができたことは幸いであった。

(c) 引用文献

- 1) Fujimoto, H., S. Miura, Y. Osada, H. Shiobara, T. Kanazawa, A. Sweeney, J. Hildebrand, and D. Chadwell, GPS/Acoustic seafloor positioning for monitoring seismic coupling in the subduction zone off Sanriku: A progress report, Proc. International Symposium on Slip and Flow Processes in and below the Seismogenic Region, Sendai, Nov. 5-8, 2001, p. 375-379, 2001.
- 2) 藤本博巳・三浦哲・金沢敏彦・長田幸仁、GPS・音響を用いた海底地殻変動観測、京都大学防災研究所研究集会報告、14K-07, 155-159, 2003a.
- 3) 三浦哲・長田幸仁・Aaron Sweeney・藤本博巳、海底地殻変動観測のためのキネマティックGPS測位の精度評価と誤差要因、地球惑星科学関連学会2002年合同大会、D058-009, 2002a.

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

| 著者 | 題名 | 発表先 | 発表年月日 |
|----|----|-----|-------|
| なし | | | |

2) 口頭発表、その他

| 発表者 | 題名 | 発表先、主催、発表場所 | 発表年月日 |
|---|-------------------------|------------------------------|-------------------|
| 藤本博巳 ア-ロンスイ-ニー 内田直希 三浦哲 小泉金一郎 長田幸仁 (2002) | 無人探査機による音響トランスポンダの観察と交換 | 日本地震学会 2002 秋季大会, 日本地震学会, 横浜 | 平成 14 年 11 月 13 日 |

| | | | |
|--|---|--|-------------------|
| 藤本博巳 ア-ロンスイ-ニー 内田直希 三浦哲 小泉金一郎 長田幸仁 (2003b) | 無人探査機による音響トランスポンダの観察と交換 | | |
| Hiromi Fujimoto Aaron Sweeney Satoshi Miura Naoki Uchida Kin-ichiro Koizumi Yukihito Osada (2002a) | ROV observation of precision acoustic transponders deployed on thick sediment | International Symposium on Geodesy in Kanazawa、日本測地学会、金沢 | 平成 14 年 10 月 28 日 |
| 三浦哲 ア-ロンスイ-ニー 藤本博巳 大崎裕生 川合栄治 市川隆一 近藤哲朗 (2002b) | 通総研鹿島 34m アンテナによるキネマティック GPS 精度検証実験 | 2002 秋季大会, 日本地震学会, 横浜 | 平成 14 年 11 月 13 日 |
| Hiromi Fujimoto Aaron Sweeney Satoshi Miura Naoki Uchida Kin-ichiro Koizumi (2002b) | On the stability of horizontal positions of acoustic transponders for seafloor geodesy deployed on thick sediment | AGU 2002 Fall Meeting, G52A-0970, American Geophysical Union (AGU), San Francisco | 平成 14 年 12 月 6 日 |
| Satoshi Miura Aaron Sweeney Hiromi Fujimoto Hiro Osaki | Evaluation of Accuracy in Kinematic GPS Analyses Using a Precision Roving Antenna Platform | AGU 2002 Fall Meeting, G52A-0959, American Geophysical Union (AGU), San Francisco, | 平成 14 年 12 月 6 日 |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Eiji Kawai Ryuichi Ichikawa Tetsuro Kondo Yukihito Osada C. David Chadwell (2002) | | | |
|--|--|--|--|

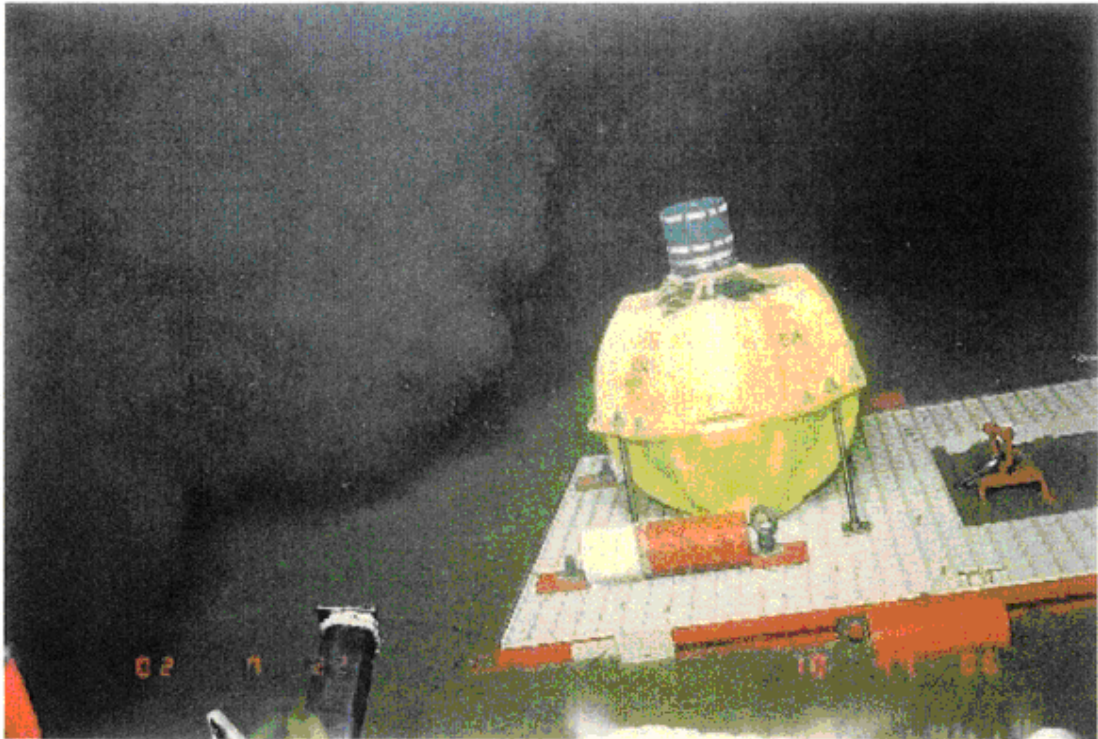


図1 2002年7月に無人探査機「かいこう」により、厚い堆積層に覆われた三陸沖の太平洋プレート上に1年前に設置された海底精密測位用の海底局を視察し、海底局のFRPの台が堆積層の中に1-2cm程度しか沈まず、水平位置は極めて安定していることが確認できた。

2.3.2 陸上 GPS 連続観測による地殻活動モニタリング

(1) 調査観測の内容

- (a) 課題 陸上 GPS 連続観測による地殻活動モニタリング
- (b) 担当者 東北大学大学院理学研究科・助教授・海野 徳仁
- (c) 調査観測の目的

宮城県沖地震の震源域に最も近い金華山観測点（東北大学）に GPS 観測点を設置して、連続観測を開始する。既設の GPS 観測点のデータと併合処理することにより、震源域およびその周辺の地殻活動モニタリングの可能性を検討する。

(2) 平成 14 年度の成果

(a) 調査観測の要約

本年度は金華山観測点（東北大学）に GPS アンテナ用ピラーを新設しデータ収集を開始した。

(b) GPS アンテナ用ピラーの新設

1) 調査観測の実施方法

東北大学の金華山観測点（図 1）に新たに GPS 観測用ピラーを建設した。金華山は、宮城県牡鹿半島の沖合いにある周囲約 26km の島で、牡鹿半島との交通は定期観光船などに限られている。そのため資材運搬には特別に作業船をチャーターする必要があり、そのための費用が建設費用の半分近くを占めた。金華山観測点は港から約 5km の地点にあるが、島内の交通は普通車 1 台がやっと通れる程度の道路があるだけであるため島内の資材運搬についても非効率的であった。

低廉かつ安定した GPS アンテナ用ピラーを実現するため、図 2 に示すような構造のピラーを新たに考案した。基礎部は 1 辺が 1.5m の立方体のコンクリート基礎とし、その中心に長さ 6m のコンクリート製パイルを地上高が 5m になるように据付けた。パイル最上部にはステンレス製のキャップを取り付けその中心に GPS アンテナ用の 5/8 インチボルトを取り付けてある。工事は平成 15 年 2 月はじめに完成した。

2) 調査観測の成果

図 3 に金華山観測点で得られた GPS 観測データを解析ソフトウェア GIPSY/OASIS-II の精密単独測位法(Zumberge et al., 1997)で解析した結果を示す。同図には、隣接している東北大学の江島観測点で得られた同期間の解析結果も示す。図から明らかなように金華山観測点に設置された GPS 観測機器は正常に動作しており、また新設された GPS アンテナ用ピラーも十分安定していることが確認された。

3) 結論ならびに今後の課題

図 3 に金華山観測点で得られた GPS 観測データを解析ソフトウェア GIPSY/OASIS-II の精密単独測位法で解析した結果を示す。同図には、隣接している東北

大学の江島観測点で得られた同期間の解析結果も示す。図から明らかなように金華山観測点に設置された GPS 観測機器は正常に動作しており、また新設された GPS アンテナ用ピラーも十分安定していることが確認された。

今後はデータの蓄積をはかり、諏訪(2002)によって明らかにされた宮城県沖の強い固着域の状態(図 4)の変化を逐次モニターしていく必要がある。

(c) 引用文献

1) 諏訪 諤子、3次元変位速度場から推定した東北日本のプレート間カップリングの時間空間変化、東北大学修士論文、pp.82、2002.

2) Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D., Watkins, M. M. and Webb, F. H., Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. J. Geophys. Res., **102**, 5,005-5,017, 1977.

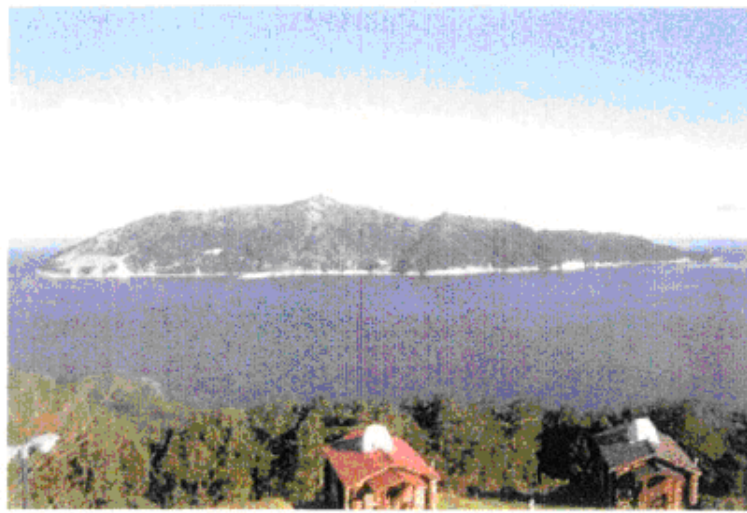
(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

| 著者 | 題名 | 発表先 | 発表年月日 |
|----|----|-----|-------|
| なし | | | |

2) 口頭発表、その他

| 発表者 | 題名 | 発表先、主催、発表場所 | 発表年月日 |
|-----|----|-------------|-------|
| なし | | | |



金華山観測点詳細位置図



図1 金華山全景写真（上）と観測点位置図（下）

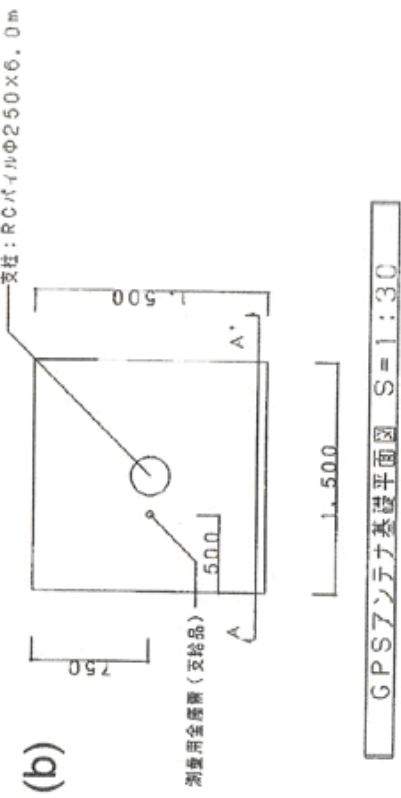
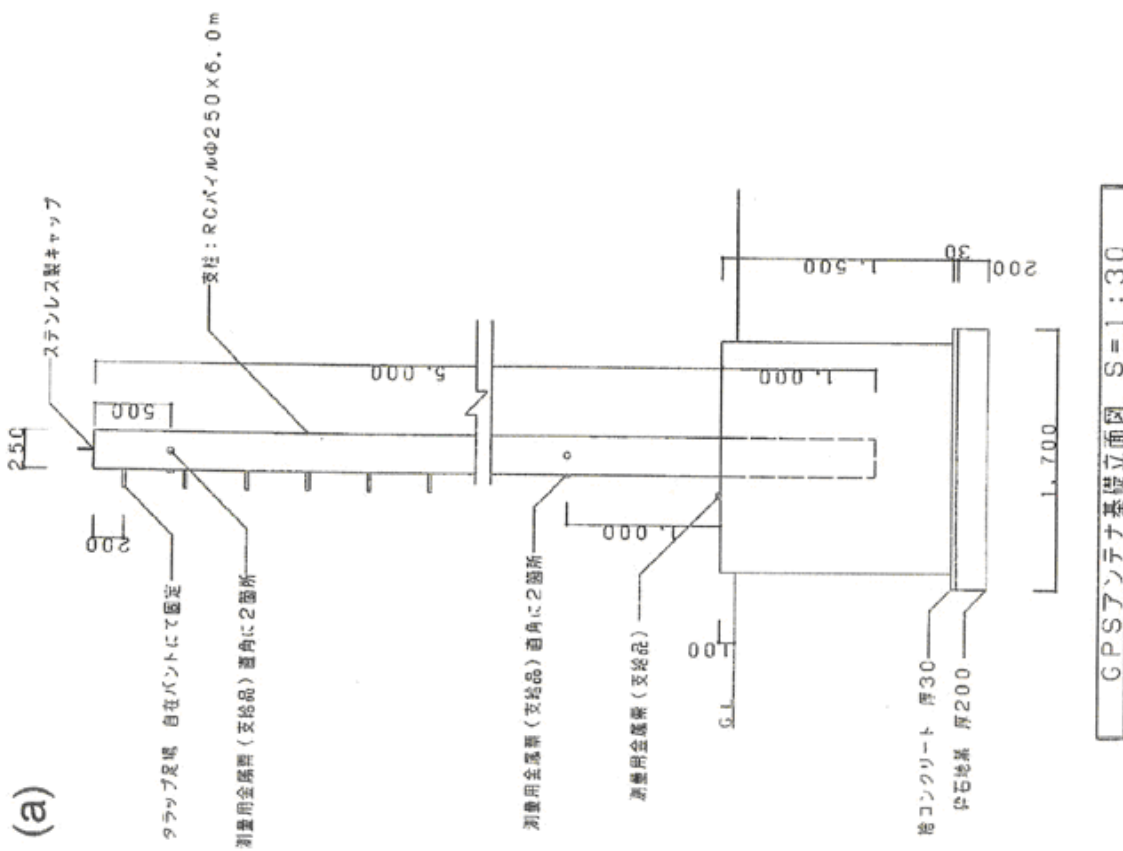


図2 金華山観測点に設置したGPSアンテナ用ピラーの設計図と完成写真
 (a) 立面図、(b) 平面図、および(c) 完成写真

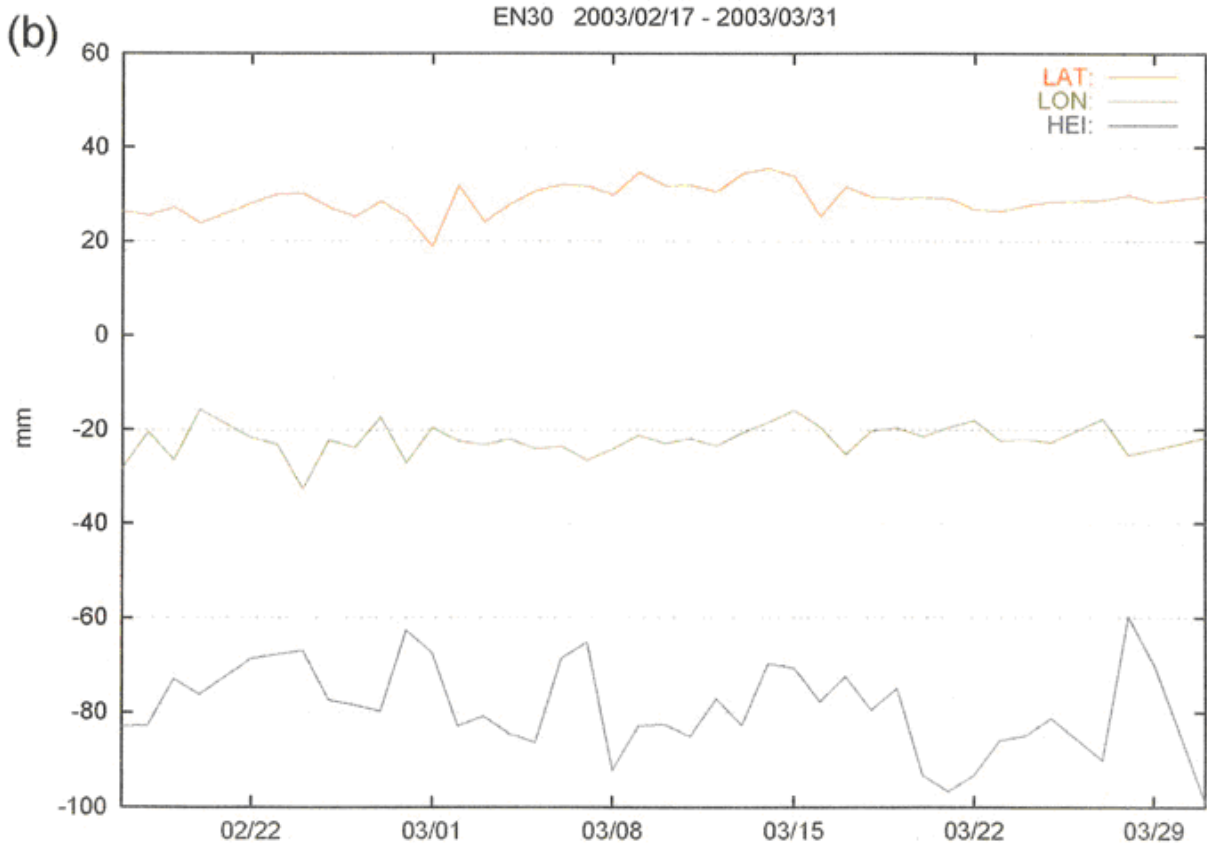
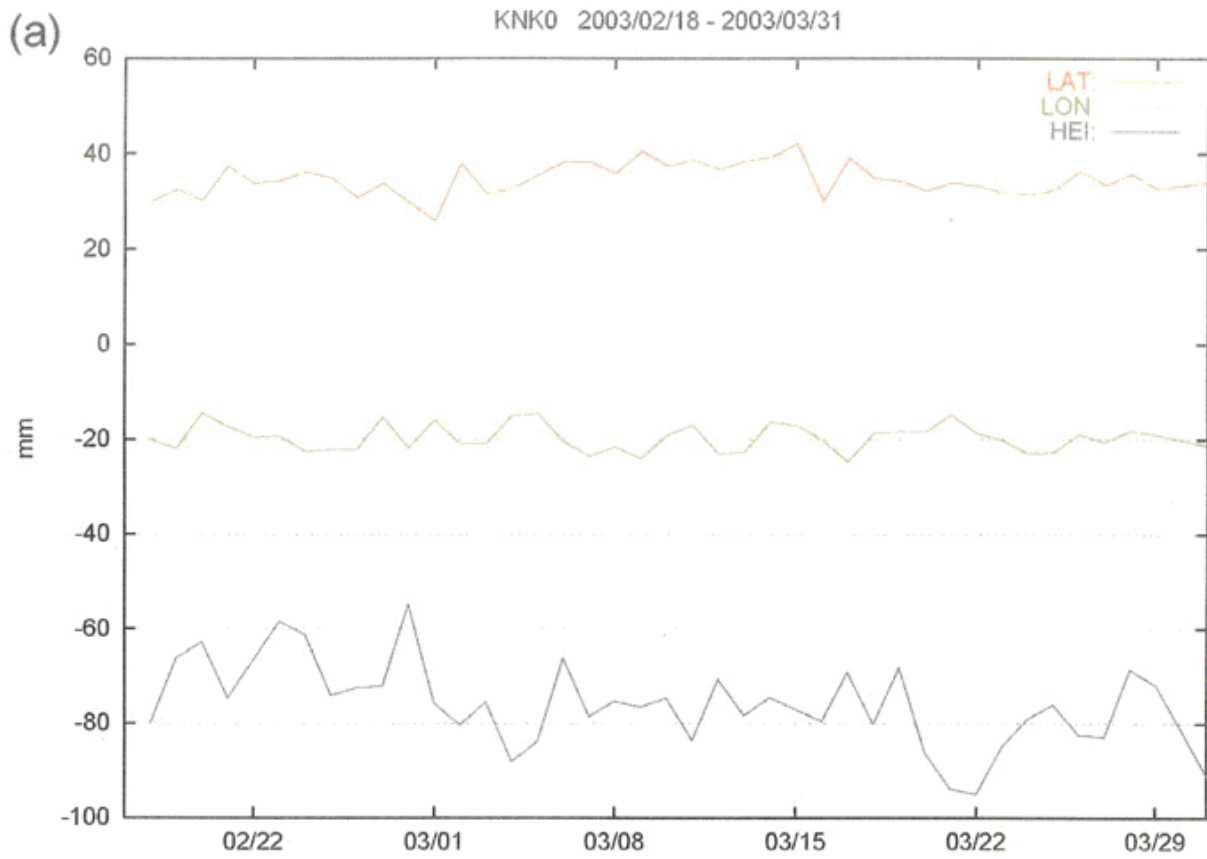


図3 GPS観測により得られた座標値の時系列。(a) 金華山観測点、(b) 江島観測点。期間は2003年2月17日から3月31日まで。上から、南北、東西、楕円体高の各成分を示す。

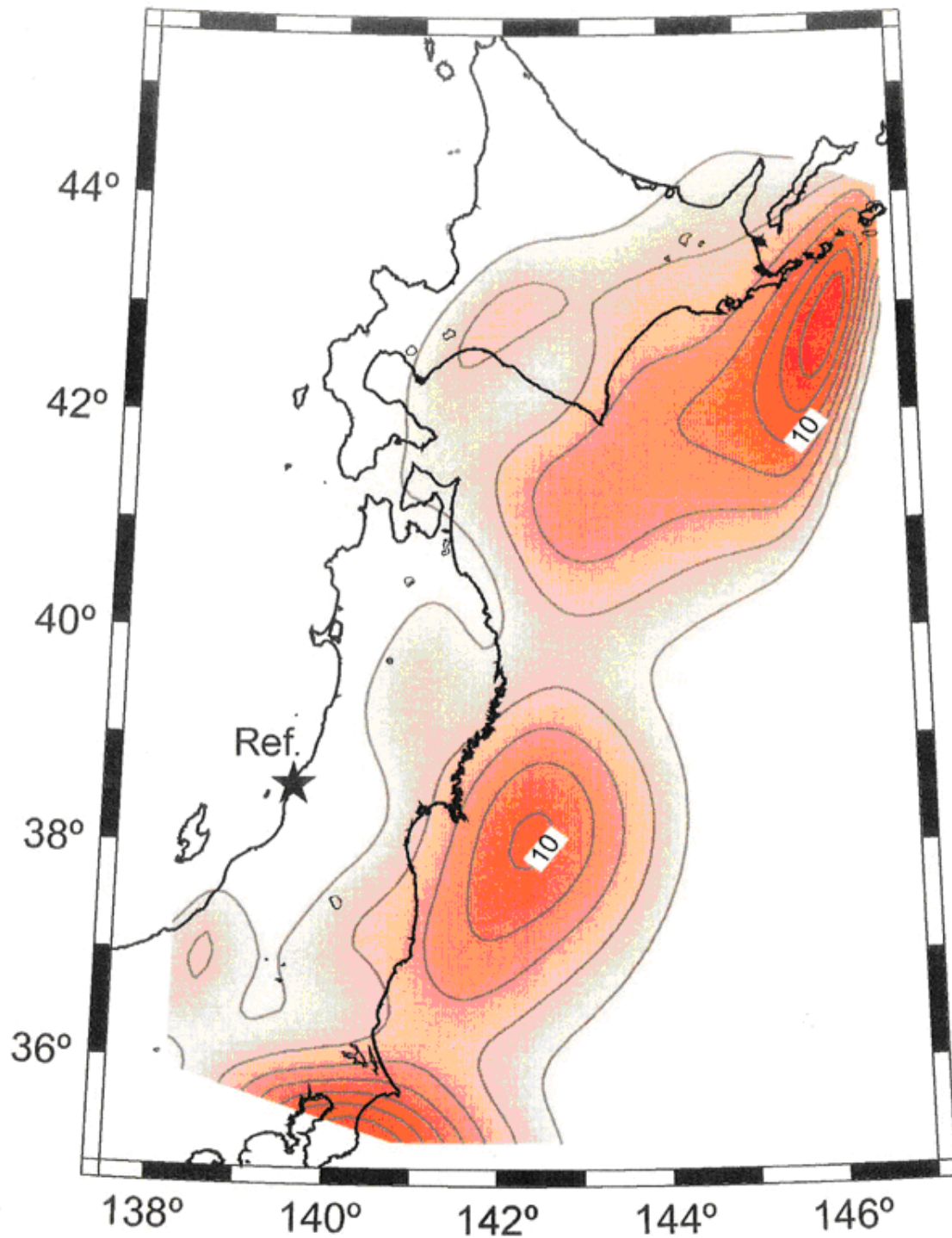


図4 GPS観測により得られた3次元変位速度データにもとづき推定されたプレート境界上のバックスリップ分布 [諏訪, 2002]。コンターはバックスリップ量の等値線で、2 cm/yr間隔で引いてある。用いたGPSデータは1997年から2001年までである。

2.3.3 宮城県沖地域水準測量調査

(1) 調査観測の内容

(a) 課題 水準測量、PS-INSAR 解析予備調査

(b) 担当者 国土交通省国土地理院 小沢慎三郎

(c) 調査観測の目的

水準測量により宮城県沖地震震源域近傍における過去の地盤上下変動を調べ、想定宮城県沖地震の震源域の状態推定に必要な情報を得る。また、新しい宇宙測地技術である PS-INSAR 解析が可能かどうかの調査も行う。

(2) 平成14年度の成果

(a) 水準測量

水準測量は、2002年7月～11月期に仙台市から牡鹿半島にかけて実施された。図1に観測路線図、図2に観測結果を示す。図2に示されるとおり、前回の観測が1980年8～9月期という事で、22年間も経過しているために、白丸印で示される改埋点が多く見られる。一般的に改埋点の精度は移設等されていない点に比べて精度は落ちると考えられる。矢本町、石巻側からみると牡鹿半島の先端は過去22年間で2cm程の隆起が見られる。最近22年間の結果に対して、1980年8～9月期と1978年9～10月期の地殻上下変動は、やはり牡鹿半島側が内陸側に対して2cm程隆起して見える。但し1978年の観測は1978年宮城県沖地震後に行われている。1978年から2年間の上下変化とその後22年間の上下変化に量的な差があまり見えない点は、牡鹿半島の隆起のレートが時間的に変化してきたことを意味する。GPS連続観測網の普及により、この地域の海溝型地震では、地震後の余効変動が多くの場合において発生することが知られており、1978年宮城県沖地震でも地震後の余効変動が起きた可能性がかなり高いと考えられる。従って、1978年の地震後2年間の変動には地震後の余効変動の効果が含まれていると考えられ、量的に大きいという点は理解され得る。また2つ目の特徴としては、2002年～1980年の観測結果と1980～1978年の観測結果で、空間的なパターンが若干仙台市側で違っているように見える。これが有意なものであるのかどうかは今後の観測データの蓄積が待たれる。また、2003年に宮城県北部の地震が今回実施した水準測量の近辺で起きており、2002年の本観測成果のおかげで非常に明瞭な地震に伴う上下変化が地震前後に捉えられている(図3)。

(b) PS-INSAR 解析

PS-INSAR とは干渉合成海溝レーダー技術の1つであり、ヨーロッパの研究機関が中心となって開発されてきた。原理としては、人工衛星と地面の間の距離変化を追跡していく技術であるが、通常の干渉合成開口レーダー技術とは違い、長期間のデータをまとめて解き、干渉が全体として悪い場合でも、建造物などの比較的恒久的な散乱点を用いてその地点での地殻変動を精度よく推定する事ができる。東海地方御前崎地域の解析結果ではほぼ、水準測量と調和的な値が出されており、その有効性が示されている。この PS-INSAR 技術に

より、宮城県沖地震想定震源域付近牡鹿半島地域における地殻変動を長期にわたって調べる事は大変重要な事と考えられる。しかしながら、PS-INSAR 解析には、安定的な散乱点の存在を必要であり、山間部の多い牡鹿半島地域でどの程度 PS-INSAR 解析の可能な散乱点があるのか事前の調査が必要とされる。このために、今回は牡鹿半島地域における PS-INSAR 解析に必要とされる安定的に存在する散乱点の存在の事前調査が行われた。

1) 調査観測の実施方法

調査の方法としては、宮城地域の E R O S 衛星画像の異なった期間のものを取り上げ、PS-INSAR 解析で必要とされる安定な散乱体の存在を調べた。

2) 調査観測の成果

その結果を図 4 に示す。図 4 に示されるように、石巻市付近都市部に多くの散乱点の存在が確認され、牡鹿半島においても稠密ではないにしろ地殻変動検出の可能性のある散乱点が数多く存在している事が示された。この可能性調査により、PS-INSAR 解析によって、宮城県沖地震の想定震源域周辺の地殻変動データを多数の地点において取得できる可能性が明らかにされた。今年度は、この結果に基づき、PS-INSAR の本解析を実施する予定である。

3) 結論ならびに今後の課題

水準測量により、1978年宮城県沖地震直後2年間とその後の20年間の上下地殻変動が量的にも空間的にも若干違う事が示された。また本調査により2003年の宮城県北部地震前後の地殻変動を捉える事ができた。PS-INSAR 解析予備調査では石巻、牡鹿半島付近における PS-INSAR 解析の可能性が示された。

(c) 引用文献

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

| 著 者 | 題 名 | 発 表 先 | 発表年月日 |
|---|---|---------------------------|-----------|
| Takuya Nishimura, Tetsuro, Imakiire, Hiroshi, Yarai, Taku Ozawa, Makoto, Murakami, | A preliminary fault model of the 2003 July 26, M6.4 northern Miyagi earthquake, northeastern Japan, estimated from joint inversion of GPS, leveling, and InSAR data | Earth, Planets, and Space | 2004 12/1 |

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| and Masaru Kaidzu | | | |
|----------------------|--|--|--|

2) 口頭発表、その他

| 発表者 | 題名 | 発表先、主催、発表場所 | 発表年月日 |
|-----|----|-------------|-------|
| なし | | | |

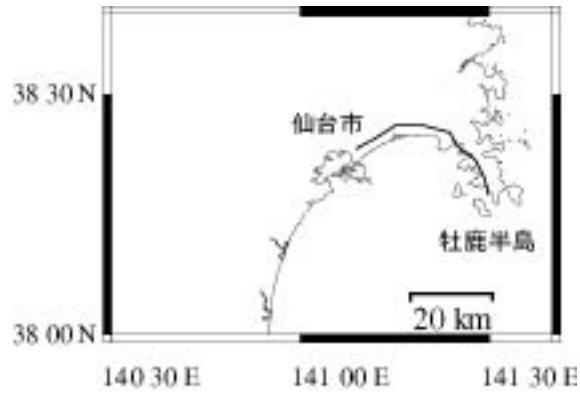


図1 仙台市～牡鹿半島間の水準観測路線図

仙台市～牡鹿町間の上下変動

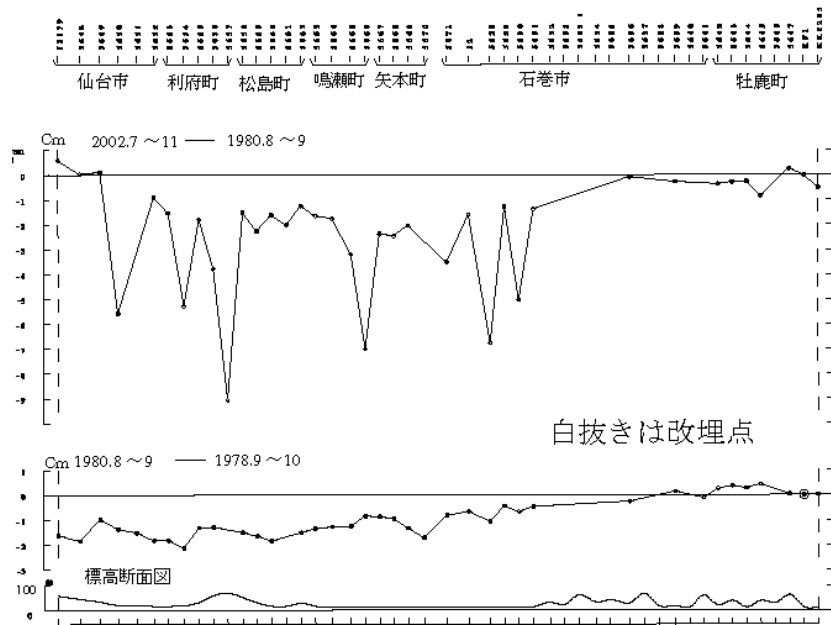


図2 仙台市～牡鹿半島間の水準測量結果

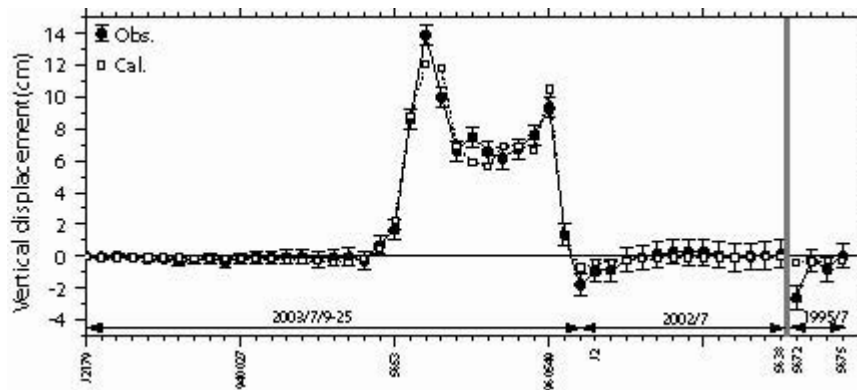


図3 2003年宮城県北部の地震に伴う地殻上下変動
黒丸：観測値、白丸：計算値図

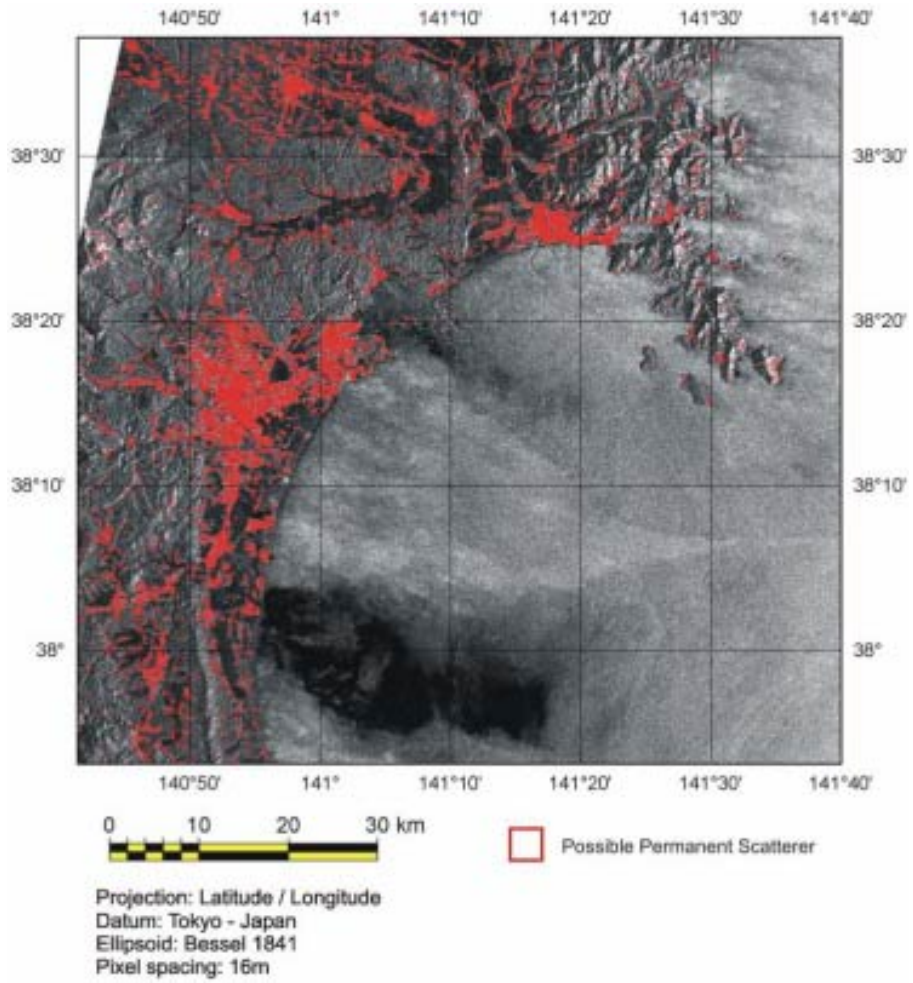


図4 PS-INSAR 解析可能点。赤い点が PS-INSAR 解析の可能性のある安定的な散乱点の位置を示す。