

## 上宝における地殻変動連続観測結果

和田 安男・土居 光・田中 寅夫

### OBSERVATION OF GROUND STRAINS AT KAMITAKARA

By Yasuo WADA, Hikaru DOI and Torao TANAKA

#### Synopsis

The observation system of ground strains, software for data analysis and the results in the period from 1984 to 1995 are summarized. At Kamitakara the ground strain has a high correlation with the change of groundwater level and the strain response to rainfall is controlled by the groundwater level. It was found that the result from electro-optical distance measurements at Tokai-area shows a good correspondence with the ground strain at Kamitakara, and this fact suggests that the ground strains observed with electro-optical measurements might also have been disturbed by rainfall and groundwater.

#### 1. はじめに

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所(1990年,同附属上宝地殻変動観測所より改組)は1965年4月に地球内部の原因により起こされる地殻変動を連続観測することによって,地震の前兆を捉える目的で設置された。地殻変動連続観測は土地の伸縮,傾斜を高感度で測定する方法により行われている。1966年より1984年までの観測結果は既に報告されている<sup>1,2,3,4,5)</sup>。今回は1995年までの上宝蔵柱観測室( $\lambda = 137^{\circ}19'37''$ ,  $\phi = 36^{\circ}16'48''$ ,  $H = 760$  m)の伸縮計と地下水位計の観測システム,パソコンによるデータ処理方法,地殻歪の観測結果,地下水位と地殻歪の相関および地下水位と降雨による地殻歪変化について述べる。

#### 2. 伸縮計と地下水位計の観測システム

Fig. 1に上宝観測所の地殻変動観測網を示す。蔵柱観測室の横穴式観測坑道は南西向きの山腹にあり,かぶりは約40 mである。Fig. 2に蔵柱観測坑内の計器配置図を示す。坑道の総延長は3方向で177 mに達する。伸縮計の基準尺は熱膨張係数の小さい水晶管を使用している。測定方式は当初,光学式で行っていたが,その後電子式と併用し,1977年4月よりテレメータで本所にデータを送信出来る様になり,1984年5月に光学式を中止した。地下水位は坑口から33 mの所にある観測井で1978年12月より連続観測を行っている。観測井の直径は13 cm,深さは坑道の床面から74 cmである。センサーはフロートの変位を「てこ」の原理で10分の1に減衰し,トランスデューサの変位に換えている。これ以外に気象(雨量,気圧,気温)の観測も電子式で行っている。記録方式としてはテレメータ化以後,モニター用のアナログおよび電算機処理用のデジタルがある。解析に使用した計器の諸定数をTable 1に示す。E1, 2, 3およびWLに差動トランス, E1, 2, 3にマグネセンサーをトランスデューサとして使用している。この他にスケールアウト

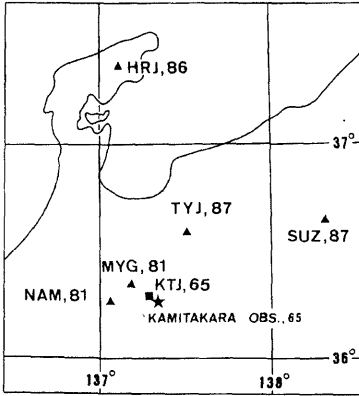


Fig. 1 Crustal movement observation network at Kamitakara Observatory. KTJ, 65 : Kurabashira (since 1965), MYG, 81 : Miyagawa (since 1981), NAM, 81 : Nishiamo (since 1981), HRJ, 86 : Horyu (since 1986), TYJ, 87 : Tateyama (since 1987), SUZ, 87 : Suzaka (since 1987)

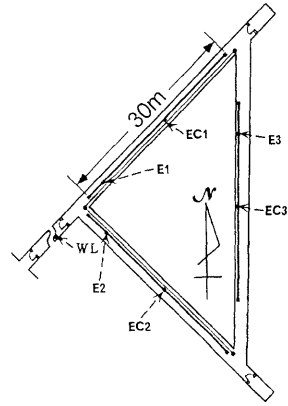


Fig. 2 Location of the instruments installed in Kurabashira observation vault. As to the symbols refer to Table 1.

Table 1 Constants of the instruments.

Instrument	Symbol	Direction	Span or Depth	Sensitivity
Quartz-tube strainmeters	E1	N45°E	25.0 m	$1.2 \times 10^{-10}$ / Digit
	E2	S45°E	25.0 m	$1.6 \times 10^{-10}$ / Digit
	E3	N 0°E	25.0 m	$1.4 \times 10^{-10}$ / Digit
	EC1	N45°E	12.5 m	$1.3 \times 10^{-10}$ / Digit
	EC2	S45°E	12.5 m	$0.8 \times 10^{-10}$ / Digit
	EC3	N 0°E	12.5 m	$0.8 \times 10^{-10}$ / Digit
Groundwater level	WL		74 cm	0.003 mm / Digit

防止用に自動零点調整回路を用いている。なお宇治への転送は1995年9月よりワークステーションによるシステムに変更された。

### 3. パソコンによるデータ処理方法

デジタル出力された生データは、記録のスケールアウトを防止するための零点移動があれば、自作した

N88BASIC プログラムにより自動補正され、欠測値やノイズは手動でマウスのグラフを描く機能により修正される。この他STEP 処理などされて、連続になったデータは積算の零点移動値とともにフロッピーディスクに出力される。Fig. 3 に自動補正の後、修正に入る前の画面ハードコピーを示す。上方の上段に機能、下段に成分を表示し、マウスのクリックで希望の機能、成分を選択する。次に機能およびその説明を示す。

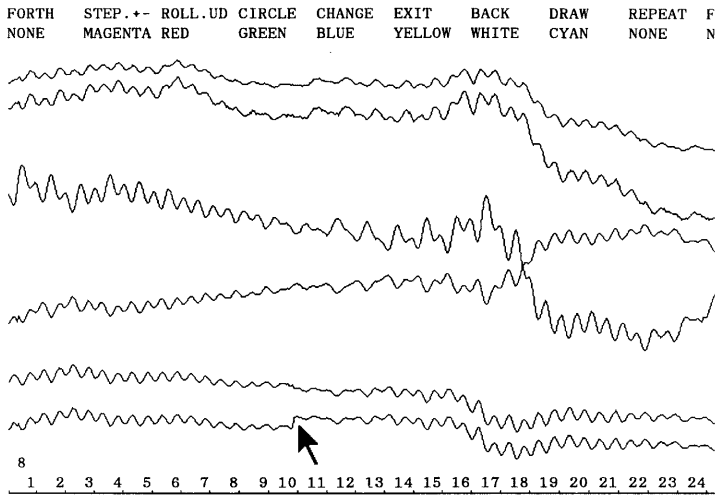


Fig. 3 An example of the records on display for data correction.

FORTH：画面に表示する期間を新しい方に進ませ、グラフを表示する。

STEP. +-：人工的、器械的なSTEPを修正する。

ROLL. UD：画面からはみ出たグラフをロールアップ又はダウンして表示を可能にする。(表示はREPEATで行う)

CIRCLE：単に円を描くだけである。(注目点を円で囲む時などに使用する)

CHANGE：データはランダムファイルに20成分あるので、これを予め3個のグループに分けておき、グループ1→2→3→1の順に変えながら希望のグループを選ぶ。

EXIT：コマンドのパラメータを初期値に戻し、プログラムを終了する。

BACK：画面に表示する期間を古い方に戻す。(FORTHの逆)

DRAW：欠測値やノイズをマウスのカーソルでグラフを描きながら修正する。

REPEAT：画面にグラフを繰り返し表示する。

F. DISK：フロッピーディスクに補正、修正済みデータを含む全データおよび積算の零点移動値を出力する。

成分の選択は画面のグラフの色によって指示する。

#### 4. 地殻歪の観測結果

Fig. 4 に1984年1月1日より1995年12月31日までの伸縮計水平3成分(BC成分はE成分のそれぞれ

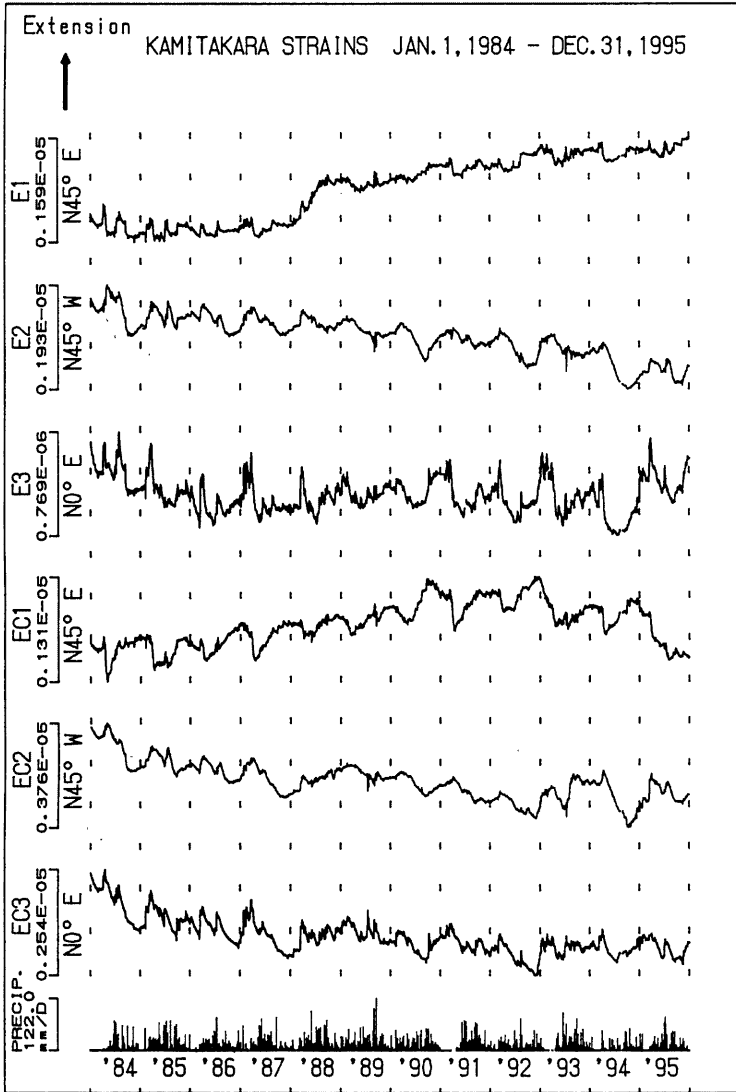


Fig. 4 Secular strains and daily amounts of rainfall at Kurabashira.

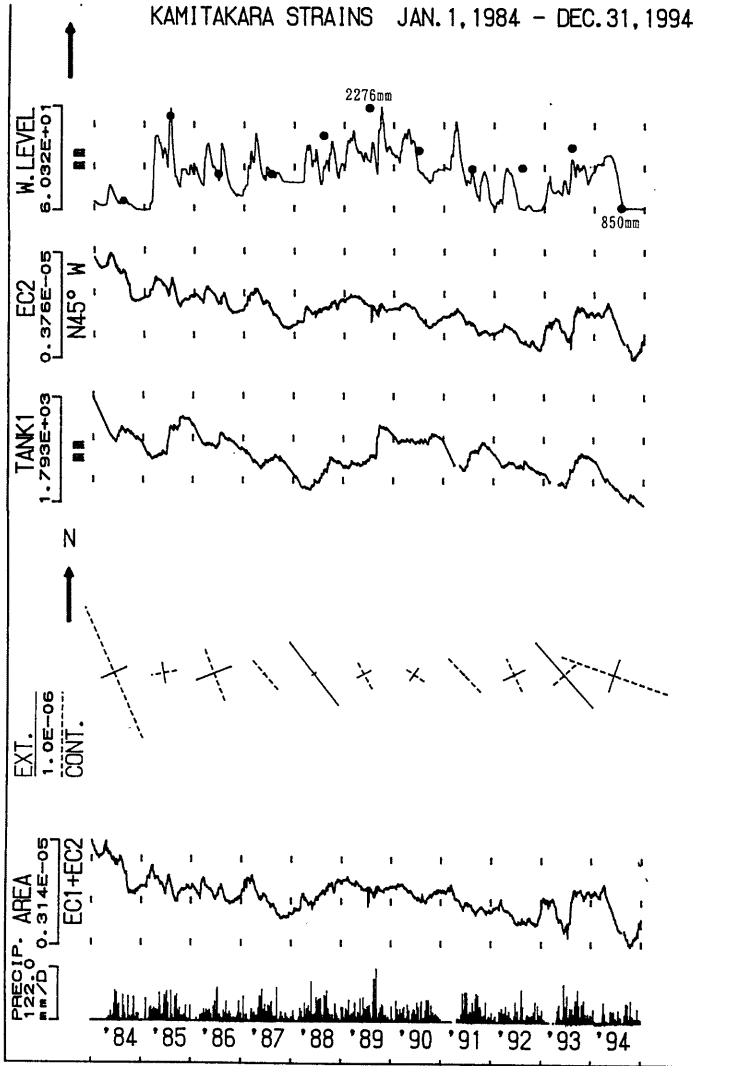


Fig. 5 Groundwater level W. LEVEL (● : yearly amounts of rainfall), the linear strain EC2, output from TANK1 in Fig. 6, yearly change of principal strains, areal strain EC1 + EC2, and daily amounts of rainfall.

の中間点)の毎日0時の観測値および日雨量を示している。E1は、電気回路のトラブルと思われる1988年の急な伸びを除けば、E2と同様に地殻歪は直線的な経年変化を示している。これに対しE3の経年変化は前2者に比べて小さい。中間点の記録についてみると、1988年の春から秋にかけてのEC2,3の伸び、および1993年の初め頃よりEC1の従来の伸びから縮みに反転したことや、同時期にEC2,3の従来の縮みから横ばいに変化したことなど、端点での経年変化の傾向とはかなり違っている。この原因を調べるための中間点の変位と降水の影響を受ける地下水位との相関の考察は次節で行う。なお1984年以降の地殻歪の経年変化率は、大きい成分(EC2:S45°E)でも $3 \times 10^{-7}$ 以下である。

5. 地下水位と地殻歪との相関

Fig. 5に地下水位とEC2の毎日0時の観測値、Fig. 6に示しているタンクモデルのタンク内水位の出力、ECの3成分による年間の主歪、面積歪、および日雨量を示す。期間は1984年から1994年までである。地下水位は1994年の夏以降、年末頃までスケールアウトをしている。春先の雪解け水、梅雨期の降雨、1988年の春から秋および1993年の梅雨期から夏にかけての地下水位の上昇とEC2の伸び、逆に1989年の秋から1992年の秋にかけての地下水位の下降とEC2の縮みなどに見られる様に、1ヶ月位から2,3年の期間に対して地下水位変化と地殻歪変化には正の相関がある。Fig. 4から明らかのようにEC3でもEC2と同様に正の相関がみられるのに対し、EC1はこれらとは逆に負の相関を示す。この結果、EC1,2,3は地

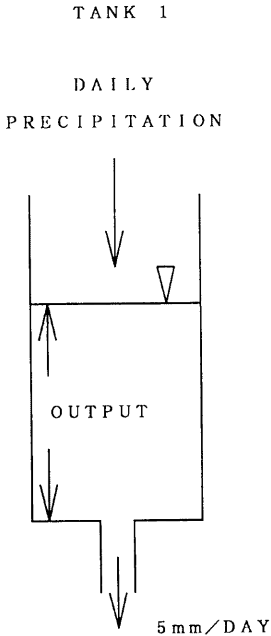


Fig. 6 Tank model for the simulation of the effect of rainfall on the ground strain EC2.

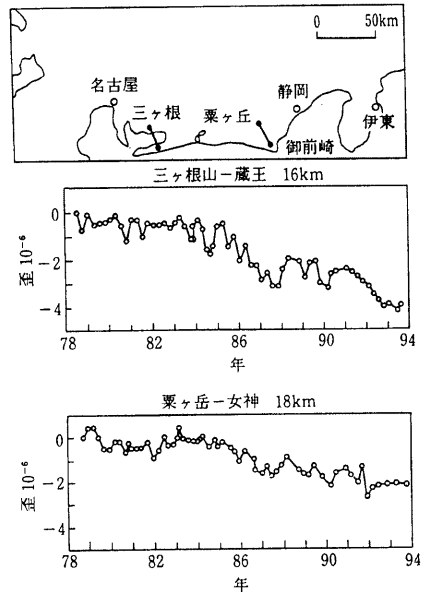


Fig. 7 Strain change on the electro-optical distance measurements at Tokai-area (after Aoki<sup>(6)</sup>).

地下水位の影響を大きく受けている、またその受け方も伸縮計によって異なるなど、極めて局所的であると考えられる。したがって本来ならば同じ変化を示すべき端点と中間点とが、異なった経年変化をする原因は地下水位変化とか破碎帯等の存在によるものと推察される。云いかえれば25 mの端点 (E1, 2, 3) での歪が単調な変化をすることはこの地域の地殻変動が一様に進行していることを示しており、中間点 (EC1, 2, 3) ではこれに伸縮計のサイズより規模の小さい、あるいは非一様な歪変化 (主に地下水位変化に起因する) が重なって観測されているものと解釈できる。

Fig. 7 は本観測室から約 180 km 離れた東海の光波測距による地殻歪の変化 (南東方向) であり、1984 年以降 10 年間で約  $4 \times 10^{-6}$  の縮みを示している。これは第 4 節で述べた蔵柱観測室の地殻歪観測結果 (EC2 : 南東方向) にほぼ一致する。特に三ヶ根山-蔵王測線は Fig. 8 に示す様に極めて類似している。このことは光波測距の結果が全体的には広域な地殻変動を示すとともに、1 cm 程度の基線長変化としては、条件によって降水の影響を受けている可能性があることを示唆している。

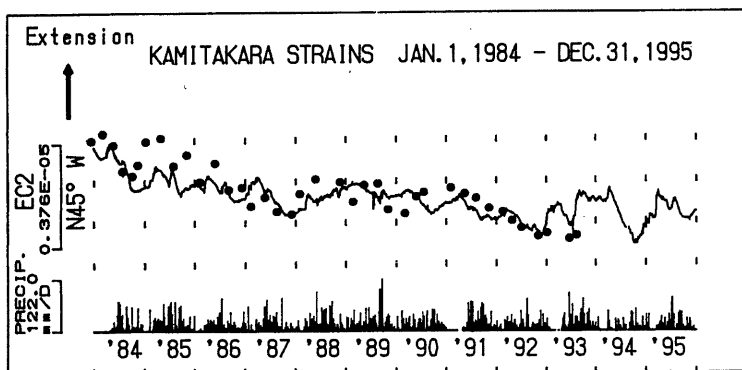


Fig. 8 Comparison of strain changes at Kurabashira (Solid line) and Sanganesan-Zao baseline (Solid circles).

## 6. 地下水位と降雨による地殻歪変化

降雨による地殻歪のレスポンスについては既に幾つかの研究がなされている<sup>7,8,9)</sup>。雨により地殻歪 (EC3) が変化した時の地下水位の状態を調べた結果、地下水位の高低によって地殻歪のレスポンスが反転することが分かった。高水位の時は降雨の後暫くしてから一旦縮み、その後大きく伸びて徐々に縮みながら元に戻るパターンと、降雨の後大きく伸びて徐々に縮みながら元に戻る2つのパターンがある。又低水位の時は降雨の後大きく縮み徐々に伸びながら元に戻る。すなわち降雨による地殻歪の主な変化は地下水位の高い時は伸び、低い時は縮む。Fig. 9 および Fig. 10 に高水位時、低水位時の地殻歪変化を時間雨量とともに示す。EC3 に降雨レスポンスの反転現象が現われるのは破碎帯の位置や大きさも関係していると思われる。この様な反転現象は1993年2月の能登半島沖地震前後に宝立観測室でも観測された。この時の反転期間は地震直後から約4ヶ月間続いた。この場合の反転現象は液状化現象等により地下水位の上昇があったものと考え、蔵柱観測室の場合と共通の現象と解釈できる。

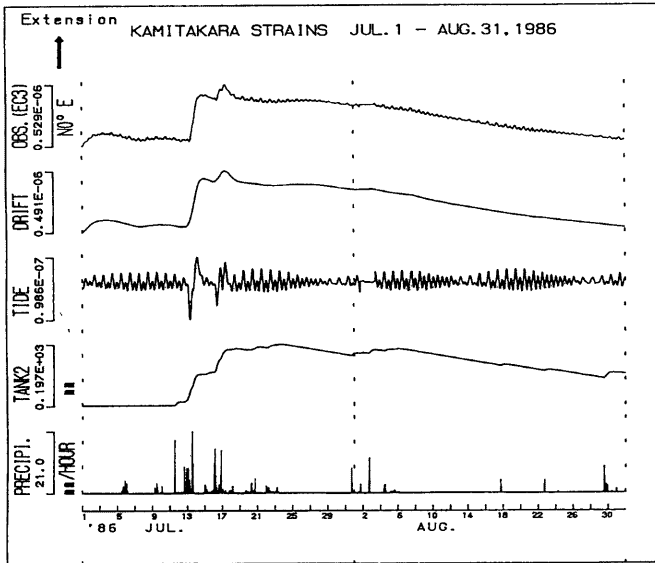


Fig. 9 Strain change of EC3 due to rainfall when the groundwater (WL) was high.

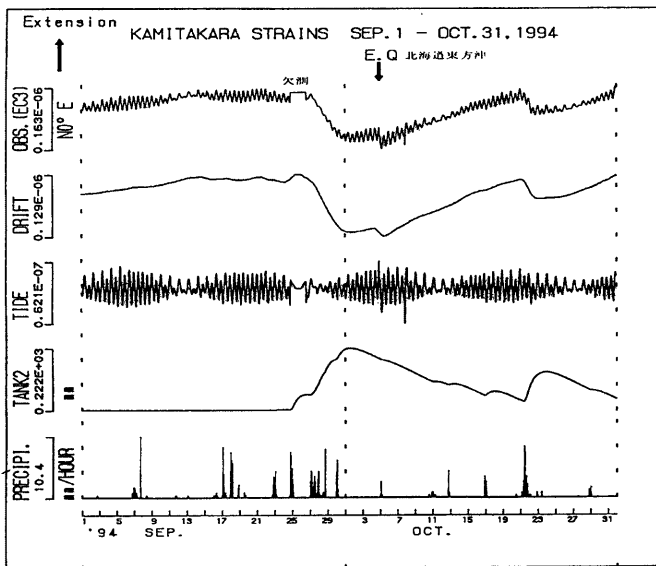


Fig. 10 Strain change of EC3 due to rainfall when the groundwater (WL) was low.



## 7. まとめ

融雪水、降雨の影響を大きく受ける地下水位は地殻歪と相関があり、さらに降雨による地殻歪の反転現象にも関連している事が分かった。また伸縮計における観測結果との比較から名古屋大学による光波測距の結果は降雨の影響を受けている可能性もあることを指摘した。このことは高精度な GPS 観測によって今後更に詳しく研究されるべき課題である。

伊藤潔助教授にはパソコンのシステム編集、重富國宏氏には地下水位に関する御助言を頂いた。そのほか、なにかと御協力いただいた関係各位に深く感謝し、お礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 一戸時雄・富永 進：上宝地殻変動観測所観測序報，京都大学防災研究所年報，第 10 号 A，1967，pp.113-121.
- 2) 一戸時雄・富永 進・加藤正明：上宝地殻変動観測所における土地傾斜変化の観測（第 1 報），京都大学防災研究所年報，第 11 号 A，1968，pp.59-64.
- 3) 一戸時雄・富永 進・加藤正明：上宝地殻変動観測所における土地傾斜変化の観測（第 2 報），京都大学防災研究所年報，第 12 号 A，1969，pp.137-143.
- 4) 土居 光・加藤正明・和田安男・三雲 健：上宝における地殻変動の連続観測，測地学会誌，第 22 巻，第 3 号，1976，pp.149-159.
- 5) 土居 光・和田安男・加藤正明・和田博夫・細 善信：上宝における最近の地殻変動（1984 年 12 月まで），京都大学防災研究所年報，第 28 号 B-1，1985，pp.79-90.
- 6) 青木治三：南海地震から 50 年 地震予知研究の進歩，第 9 回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編，自然災害と地域社会の防災 安全な社会生活を守るために，1995，pp.62-73.
- 7) 石井 紘・佐藤俊也・立花憲司：秋田地殻変動観測所における地殻変動連続観測(2)ー降雨による地殻ひずみについてー，測地学会誌，第 19 号，第 3 号，1973，pp.135-144.
- 8) 田中寅夫：傾斜計・伸縮計記録に現われる降雨の影響とそのシミュレーション，測地学会誌，第 25 巻，第 2 号，1979，pp.91-100.
- 9) 山内常生：降雨に対する地殻歪レスポンスのシミュレーション，測地学会誌，第 27 巻，第 1 号，1981，pp.40-49.