

1993年北海道南西沖地震にともなう奥尻島の地殻上下変動 —水上岩高低測量から得られた結果—[†]

矢吹哲一朗*, 福島繁樹**, 青木秀正***, 増山昭博***

Vertical Crustal Movements of Okusiri Island Associated with the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake, —Estimation from the Measurements of Offshore Rocks' Heights—[†]

T. YABUKI*, S. FUKUSHIMA**, H. AOKI*** and A. MASUYAMA***

Abstract

We estimated the coseismic vertical crustal movements of Okusiri island associated with the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake by comparing the measurement data of the heights of offshore rocks around Okusiri island before and after the earthquake. The results show us the subsidence all over the island; the least subsidence is about 25 cm at the northeast tip, while the largest subsidence is about 100 cm at the south part. From the scattering of the multi-measurement data, we guess that the standard error of measurement is about 3 cm, which is enough for the detection of the coseismic crustal movements. A fault model explains the observed trend of subsidence which is just west of Okusiri island with the dislocation of about 5 m, dip angle of 50 degrees descending westward.

1. はじめに

日本海では、1983年に、秋田県沖を震源域とする日本海中部地震(マグニチュード7.7:気象庁)が発生し、この地域のテクトニックな特性が注目されていた。日本海東縁に沿ったプレート境界を仮定し、日本海の海洋プレートが日本列島の下に沈み込んでいるモデルも考えられている。しかし、このプレート境界で発生したと考えられる1964年新潟地震については、震源域が海底だったこともあり、実際に日本海の海底地殻の沈み込みにもなう地震かどうか明確にはなっていない(瀬野, 1984)。

1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震も、やはりこの日本海東縁のプレート境界で生じたと考え

られた。気象庁によれば、規模はマグニチュード7.8、本震の震源の深さは34kmと報告されている(気象庁)。しかしながら、この地震は、当初に予想された日本海の日本列島の下への沈み込みに起因するというような単純なものではないらしい。そのため、地震のメカニズムがさまざまな方法で精力的に調査されるとともに、この地域の歪・応力の蓄積の状況に関連するこれまでの地震観測・地質調査からではわからなかったいくつかの新しい事実とその解釈が必要となっている。

地震のメカニズム調査のために、この地震にもなういくつかの現象、すなわち、(i)ダイナミックな地震の揺れ、(ii)余震の分布とその時間的な変化、(iii)地殻変動、(iv)津波、の4つに関して、定量的な観測

[†] Accepted 10th February 1995

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

** 海上保安学校 Maritime Safety School

*** 第一管区海上保安本部 1st Regional Maritime Safety Headquarters

システムによる測定データから、地震のメカニズムに関する研究が行われている。ダイナミックな地震の揺れについては、例えば久家ほか(1994)、余震分布については、例えば北海道大学理学部(1994)、明田川ほか(1994)、日野ほか(1994)、津波の波源に関しては、例えば、都司ほか(1994)、今村ほか(1994)がある。

本稿では、この中でも、地殻変動の測定結果について報告する。海底で地殻変動を測定する手法はまだ確立されていないので、北海道南西沖地震にともなう地殻変動調査は、奥尻島および北海道渡島半島での調査に基づくものである。例えば、測定データに基づき水平および上下変動について橋本ほか(1994)、上下変動について海岸の生物指標に基づき、堤ほか(1993)と地質調査所(1994)、海岸の測量写真に基づいて、熊木ほか(1993)などが主なものである。

本稿では、奥尻島での地殻変動、特に上下変動の推定のための一手法としての水上岩高低測量を紹介する。水上岩高低測量は、沿岸域の船舶航行の安全等に寄与するために、海上保安庁水路部において日本各地で実施しているものであり、奥尻島でも1978年に測量が行われている。ここでは、同一水上岩の再測量の成果から高低の変化量を推定した結果を示し、ほかのさまざまな手法で行った上下地殻変動の

推定結果との整合性を議論することにより、このような水上岩高低測量が、地震メカニズムの解明に寄与することを示す。

2. 水上岩高低測量と地殻上下変動の推定

地震時の地殻上下変動を求めるために、この研究では奥尻島の周辺に点在する水上岩（島の周囲の海面から数m以下の高さに頭を突き出している岩）の高低測量の結果を用いた。Fig. 1に測定の方法を示す(杉浦ほか, 1977)。この方法で地震時の上下変動を有効に求めるためには、次の4つの条件が必要となる。

- (1) 地震の前後で高低測量が同じ水上岩に関して行われていること。
- (2) 対象とした水上岩が、地殻変動以外の理由で動いたり、あるいは壊れたり欠けたりしていないこと。
- (3) 高低測量の基準面が変化していないこと、あるいは変化していても補正が可能であること。
- (4) 地震時の上下変動量が、測定精度を上回っていること。

今回の北海道南西沖地震に関して、奥尻島の周囲の水上岩のいくつかは、上記の条件を満たしていた。まず、(1)に関して、高低測量は地震前は1978年の6月

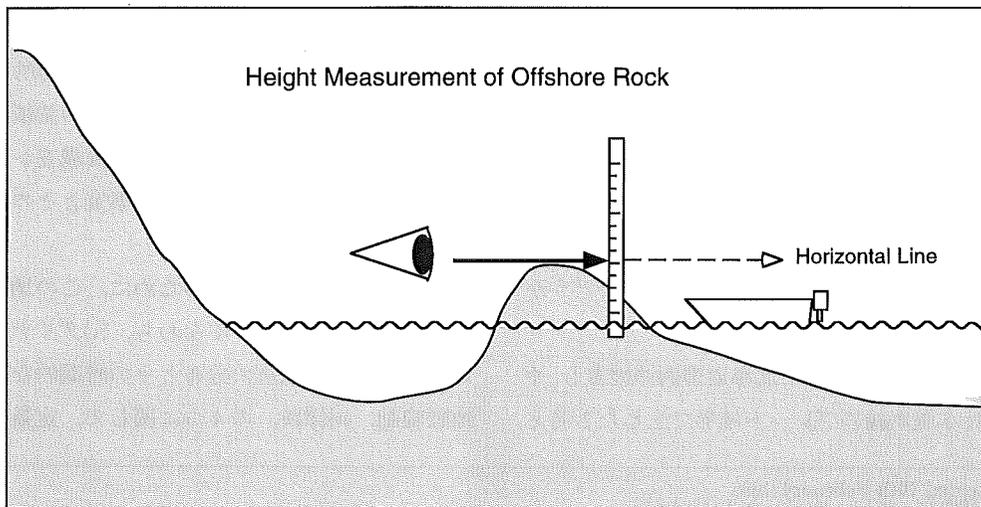


Fig. 1 An illustration explaining the measurements of offshore rock's height.

～10月に行われている(海上保安庁, 1979)。今回の地震後(1993年9月)に高低再測量を行った結果, 良好なデータが, 島の周りの14点の水上岩について得られている。(2)に関して, 対象とした水上岩は, 島の周りの5 m程度の直径を持つ比較的大きく堅固な岩であり, 航空写真をもとに岩が同じ場所にあることを確認した。1993年の測量時に写した水上岩の一例を Photo 1. に示す。また, 2回の測量の間隔は15年にも及ぶものの, この間に大きな地殻活動は島周辺で発生してはいない。一方, 非地震性の地殻上下変動の速さは, 一部の火山性の変動や地下水汲み上げの影響を除けば, たかだか年間数ミリメートル

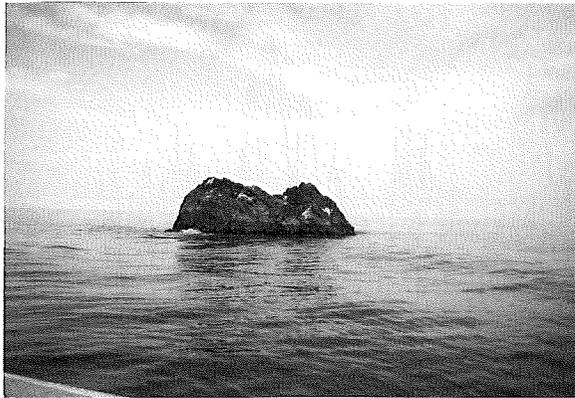
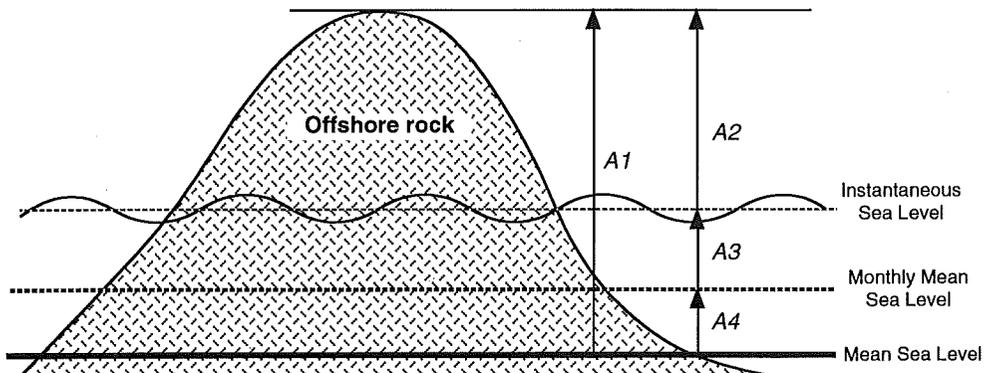


Photo 1 Photograph of the offshore rock, identity number 15. See also Table 2 and Fig. 5.

の速さであり, 奥尻島では15年間で大きくとも10cmを越えることは考えられない。後で示すように, 今回の結果から推定される15年間の上下変動は10cmを大きく越えており, この大部分は地震時に発生したものと仮定しても差し支えない。

次に(3)に関しては, 海面の高さは潮汐, 海洋変動, 気象変化などいろいろな原因で変動するので, その補正を行わなければならない (Fig. 2)。実際の高低測量は, もちろん測定時の海面 (Instantaneous Sea Level) を基準にして行われた。波浪による動揺は測定時に測定者により平均されて除かれている。次に, 32日間にわたる奥尻港での臨時の験潮の記録に基づき, 月平均水面 (Monthly Mean Sea Level) を求めることにより, 水上岩の高低を測量時の月平均水面に対して求めた。さらに, 月平均水面の変動は, 小樽 (忍路: 国土地理院所管) の験潮所記録に基づき, 5年間の平均水面 (Mean Sea Level: M. S. L.) からの高さを求めた。1978年当時の記録も, 同様に奥尻港臨時験潮所と忍路基準験潮所の記録に基づいて補正し, 平均水面からの高さが求められている。したがって, この研究では, 5年間の平均海面高には時間変化がないことを仮定して, 高低測量の結果の比較を行う。

短期的な変化の補正のための臨時験潮所は, 1978



$$A1 = A2 + A3 + A4$$

A2: Raw data

A3: Correction based on the data of a temporary tide station at Okusiri-Ko

A4: Correction based on the data of Oshoro permanent tide station

Fig. 2 Concept of the height measurements of offshore rocks referred to the mean sea level.

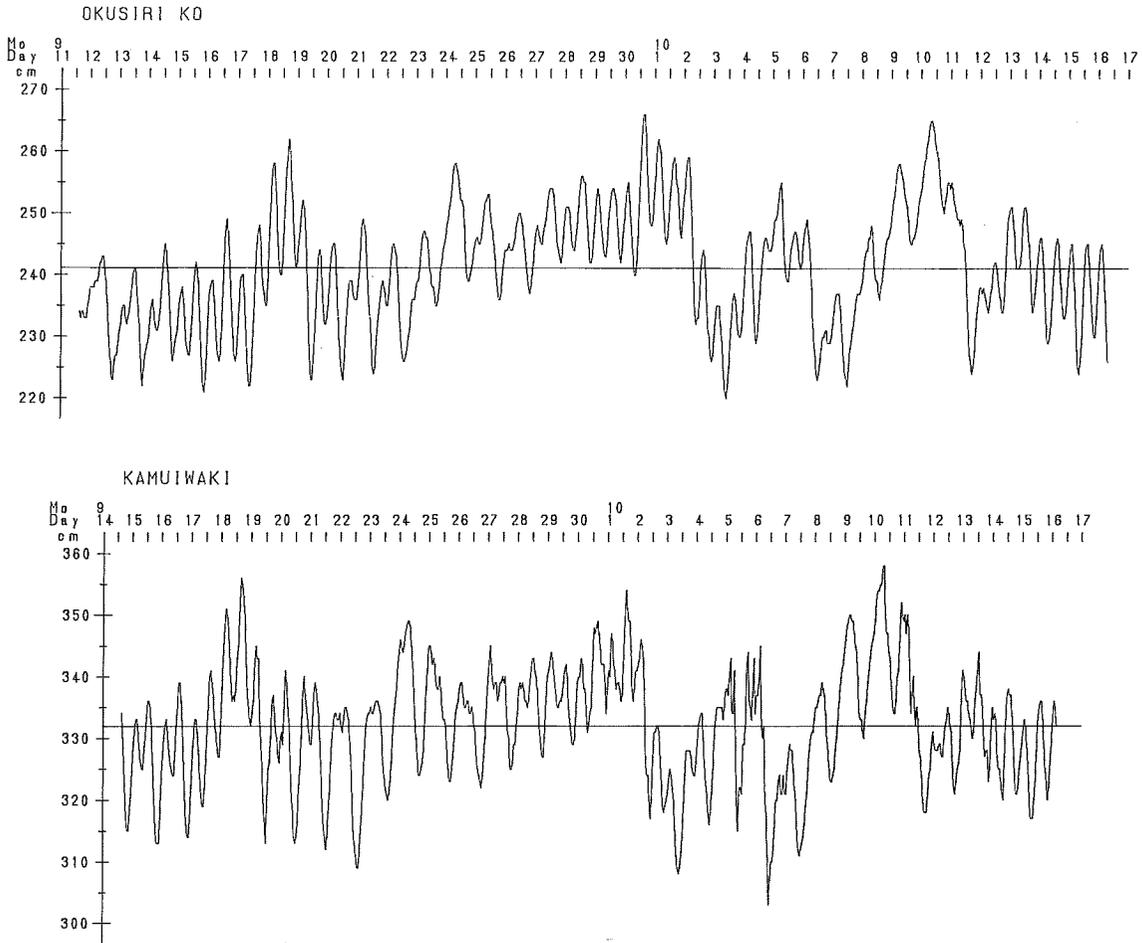


Fig. 3 Top: The tidal record at the Okusiri-ko (Sep. 11-Oct. 17, 1993). Bottom: The tidal record at the Kamuiwaki-ko (Sep. 14-Oct. 17, 1993).

年と1993年について同じ奥尻港内で行われている。Fig. 3に、奥尻港での1993年の臨時験潮記録を示す。また、奥尻島西岸の神威脇漁港内の臨時験潮所での潮汐記録も合わせてFig. 3に示す。Fig. 3からもわかるように、奥尻周辺は、潮汐の振幅は比較的小さく、主要四分潮(M2, S2, K1, O1)の和は、奥尻港で15.5 cm, 神威脇港で19.5 cmである。験潮記録から算出した潮汐調和定数をTable 1に示す。

(4)の変動量と測定精度に関しては、後節で詳しく検討する。

3. 推定された地殻上下変動

奥尻島の周囲の14個の水上岩および青苗港の赤灯台岸壁について、1993年9月11日から9月13日にかけて、岩の頂点の海面からの高さ(あるいは岸壁の高さ)を、5 mのグラスファイバー製伸縮式スタッフを使用して測定した。測定は、各岩について時間を変えて標準的には9回行っている。ただし、一つの岩については、海面下に岩が沈んだために測定が1回しか行えなかった(Table 2)。測定当日は、天候に恵まれており、大気圧も安定し、また、海面の波浪による昇降も比較的小さかった。しかしながら、

Table 1 The results of the analysis of tidal observations for 32 days at the Okusiri-ko and Kamuiwaki.

		Station : Okusiri Ko Longitude : 139 31 12E Latitude : 42 10 6N Time Zone : -9H 0M OBS. DAY: 1993 9 12			Station : Kamuiwaki Longitude : 139 24 48E Latitude : 42 10 6N Time Zone : -9H 0M OBS. DAY: 1993 9 14		
		V (m)	K (Deg.)	G (Deg.)	V (m)	K (Deg.)	G (Deg.)
1	MM	0.033	165.3	170.2	0.016	165.0	169.9
2	MSF	0.030	258.9	268.1	0.028	266.5	275.7
3	Q1	0.011	313.4	294.5	0.005	271.2	252.4
4	O1	0.045	351.3	337.3	0.059	311.9	297.9
5	M1	0.003	341.2	332.1	0.003	345.6	336.6
6	K1	0.036	9.9	5.7	0.064	342.3	338.2
7	J1	0.003	334.1	334.8	0.006	28.4	29.3
8	OO1	0.001	48.9	54.7	0.004	125.4	131.2
9	MU2	0.010	99.1	71.8	0.001	75.8	48.6
10	N2	0.010	75.2	52.1	0.013	88.1	65.2
11	M2	0.051	108.3	90.1	0.052	106.1	88.2
12	L2	0.002	146.3	133.0	0.003	349.6	336.5
13	2SM2	0.001	193.4	193.5	0.001	196.7	197.0
14	S2	0.023	132.1	123.1	0.020	132.1	123.3
15	MO3	0.003	353.1	320.9	0.000	103.5	71.6
16	M3	0.004	215.1	187.9	0.003	274.5	247.5
17	MK3	0.001	314.4	292.0	0.001	22.1	0.1
18	MN4	0.002	356.6	315.3	0.002	320.0	279.2
19	M4	0.002	353.3	317.0	0.002	175.2	139.3
20	SN4	0.001	294.1	262.0	0.000	132.2	100.5
21	MS4	0.001	307.2	279.9	0.002	230.8	204.0
22	2MN6	0.002	132.9	73.5	0.002	64.3	5.5
23	M6	0.002	11.4	316.9	0.003	44.2	350.3
24	MSN6	0.001	207.4	157.1	0.002	284.6	234.9
25	2MS6	0.001	180.8	135.4	0.003	187.9	143.1
26	2SN6	0.000	86.1	49.9	0.001	103.2	67.6
27	K2	0.006	132.1	123.8	0.006	132.1	124.0
28	NU2	0.002	74.5	52.1	0.003	87.5	65.2
29	P1	0.012	9.9	5.0	0.021	342.3	337.5
CONST.		2.42			3.33		

Table 2 The results of the height measurements of offshore rocks around Okusiri island and the estimated coseismic vertical movements. See Fig. 5 for the position of each rock. See the text about the estimation errors of vertical movements. Note that the subsidence of rock number 8 is so large that it has been covered by sea water. Therefore only one measurement data is obtained in 1993. The estimation error for this rock is based on the standard error of the height measurement for uncovered offshore rocks.

Identity number of offshore rocks (通称)	Heights from the mean sea level				vertical movements (m) (1993-1978)
	1978		1993		
	estimated (m)	No. of measurement	estimated (m)	No. of measurement	
(2) (稲穂岬先端)	1.98	9	1.80	9	-0.18±0.02
(3)	1.13	9	0.69	9	-0.44±0.02
(4) (球島岩)	2.19	9	1.96	12	-0.23±0.02
(5)	1.84	9	1.54	12	-0.30±0.02
(6) (小カカリ石)	3.08	9	2.86	12	-0.22±0.02
(7)	1.02	9	0.66	9	-0.36±0.02
(8)	0.83	9	-0.21	1	-1.04±0.04
(9) (沖のハッピ)	1.05	9	0.48	6	-0.57±0.02
(10) (地のハッピ)	1.62	9	1.32	9	-0.30±0.02
(11) (郡来岩)	2.30	9	1.91	9	-0.39±0.02
(12) (千畳岩1)	2.23	9	1.26	9	-0.97±0.02
(13)	1.44	9	0.79	9	-0.65±0.02
(14)	2.84	9	2.42	9	-0.42±0.02
(15)	3.82	9	3.59	9	-0.23±0.02
(16) 青苗港赤灯台	2.16	9	1.71	13	-0.45±0.02

恵まれたとはいえ波浪による数十cmの海面の動揺は避けられなかった。

得られた各測定値について、先に説明したように、奥尻港臨時験潮所および忍路基準験潮所の潮汐観測資料に基づき平均水面からの潮位を求めて補正し、水上岩の平均水面からの高さとして算出した。これらの補正した高さについて、各岩ごとの複数回の結果を平均することにより、その岩の平均水面からの高さの推定値とした (Fig. 4)。

次に、この成果を、1978年に「海の基本図測量」で行った同様の測量の成果 (海上保安庁, 1979) による水上岩の高さの推定値 (このときも、各岩について9回の測定を行うとともに奥尻港および忍路の潮汐観測記録による補正を行っている) と比較し、差を取って岩の上下変動の推定量とした。導かれた

変動推定量は、すべて沈降を示している。各岩の高さ測定の結果と上下変動の大きさを Table 2 に、また、沈降量の分布を Fig. 5 に示す。

一方、奥尻港と神威脇の水準点の上下変動を求めするために、水上岩測量と同時期に、それぞれの場所の臨時験潮所とその近くにある水準標石 (奥尻港は基本水準標石、神威脇は北海道開発局水準基標) との間の直接水準測量を行った。この結果と潮汐観測の結果から、各基本水準標石の平均水面に対する高さを求めた。これらの成果を、奥尻港については1978年の同様の成果、神威脇については1981年の北海道による同様の測量成果と比較することにより、水準点の上下変動を算出した。同じく Fig. 5 に結果を示す。

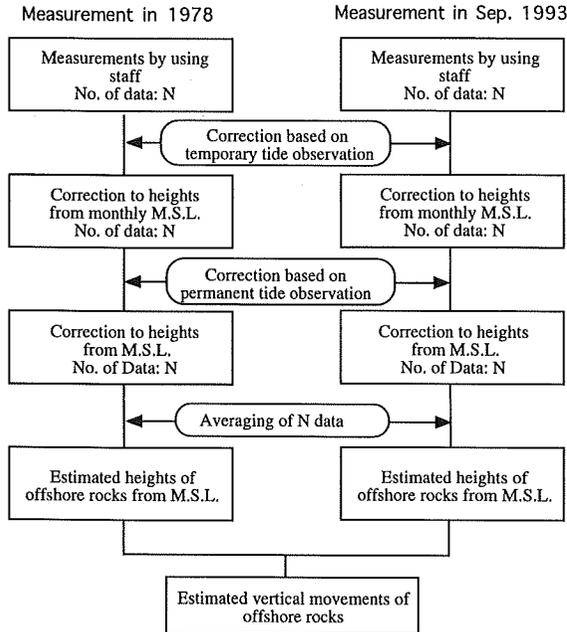


Fig. 4 A block diagram of data processing for the estimation of the changes of offshore rocks' heights.

4. 考察

4.1 推定された地殻上下変動の誤差について

Fig. 2からもわかるように、水上岩の平均水面からの高さの推定誤差の原因として、(1)波浪などともなう水上岩高低測量誤差、(2)奥尻港での験潮記録による短期的な海面変動補正の誤り、(3)忍路基準験潮所の結果を用いた長期的な海面変動の補正の誤り、(4)その他の間違いに起因する誤り、が考えられる。このうち、(1)の原因による誤差は、各測定値に対するランダム誤差となる。また、(2)の原因については、各測定が日付あるいは時間を変えて行われているので、その時々で、海面高の月平均水面への補正量の誤差が無相関であると考えれば、ランダムな誤差になると仮定できる。ただし、無相関という仮定は必ずしも妥当ではないかもしれない。この点については、後に議論する。最後に、(3)については、誤差は推定量にたいする島全体で一定のバイアスになると考えられる。

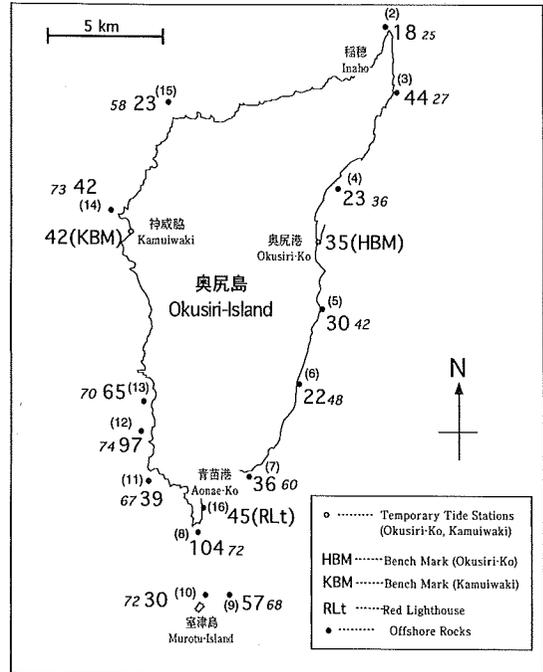


Fig. 5 The estimated subsidences in cm around Okusiri island (September 1993-1978). Numbers in parentheses indicate the identity numbers of offshore rocks shown in Table 2. Numbers of large characters indicate the estimations based on the results of the height measurement. HBM and KBM indicate the benchmarks. The subsidences of each benchmarks are estimated by using the data of the leveling and tidal observations. Numbers of small slant characters indicate the synthetic vertical movements based on the fault model which is explained in Fig. 7 and Table 3.

ここで、測定のランダムな誤差の統計分布を考察する。Fig. 6は、6回以上のデータがある岩の測定結果（平均水面からの高さへ補正した値）について、その平均値（水上岩の高さの推定値）からの残差をすべての岩について合計したヒストグラムである。この平均値に対する残差が、上記の(1)と(2)の原因によるランダム誤差の和と仮定すると、その標準偏差（ 1σ ）は1978年の測定で3 cm、1993年の測定でも同じく3 cmとなった。つまり、複数回の測定の結果の

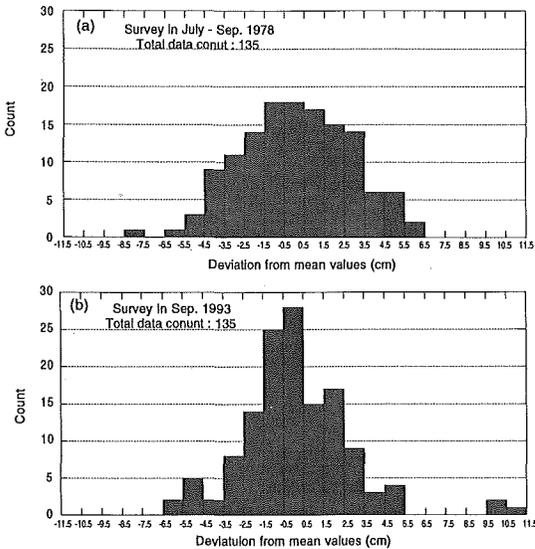


Fig. 6 Histogram of the differences between the estimated heights for offshore rocks and the results of height measurement for each rock. Top : the results in 1978. Bottom : the results in September 1993.

ばらつきから、測定誤差がランダムであると仮定して、平均的な測定誤差を推定すると ± 3 cm程度の大きさになる。この値は、1978年も1993年もほぼ同じであることから、測量当日の海況などに左右されるものの、ある程度恵まれた条件ならば、ほぼこのようなばらつきで高低測量を行えるものと考えられる。さらに、一般に、9個の測定データの平均値を水上岩の高さの推定値としているので、推定値に含まれる誤差はもっと小さくなるのが期待される。ここで見積もられた誤差の大きさを根拠に、今回推定された地殻上下変動の推定誤差を誤差伝播の法則にしたがって見積ると、およそ2 cmと非常に小さな値になる。ただし、地震後の再測量を1回しか行わなかったNo. 8の岩は、誤差の期待値はずっと大きい。

なお、奥尻港と神威脇港の基準標石の測量結果は、水上岩の結果よりも精度は高いと期待される。

誤差に含まれるバイアス成分の大きさに関しては、他の手法で行ったデータと比べることが有効で

ある。例えば、海岸線の生物指標による上下変動の測定結果(堤ほか, 1993; 地質調査所, 1994), 海岸の写真による見積もり(熊木ほか, 1993)などと比べることができる。個々の場所について、上下変動にはかなり差がある場合もあるものの、島全体で互いに一定のバイアスがあるとは認められない。

これらの結果から、今回の水上岩測量で得られた結果は、測定の際のばらつきが小さいこと、他の測定手法で得た結果とも調和的であることなど、波浪の影響で精密測量に比べれば精度は劣るものの、地殻変動の見積もりに有効な手法といえる。

4.2 地殻上下変動の分布と地震モデルとの関連

上記で得られた奥尻島の上下変動(全島的に沈降)は、その大部分が1993年の北海道南西沖地震にともなって生じたと考えられる。なぜなら、比較した測量の間(15年間)には、特に大きな地殻活動は奥尻島の近傍に発生していないこと、1983年日本海中部地震は震源域が離れているので、10 cm以上の変動が奥尻島付近であったとは考えにくいこと、また、この変動を定常的な上下変動で説明するには変動量が大きすぎることなどの理由からである。

この地震の断層モデルは、さまざまな方法で推定されている。特に、橋本(1994)では、やはり地殻変動のデータを説明する破壊モデルを作成し、計算値と実際のデータとの比較を行っている。

ここでは、北海道南西沖地震による断層破壊が上下変動の主因であると仮定して、断層モデルを設定し、理論的な上下変動を計算し、水上岩測量結果を説明できるかどうかを確かめた。断層破壊モデルについては、地震波の解析結果によるメカニズム解(気象庁, 1994)、余震分布の結果(北海道大学理学部, 1994)などを考慮して、Table 3のように仮定した。なお、このモデルは無数に考えられる断層モデルの一例であることに注意していただきたい。今回は、奥尻島という限られた場所のデータしかないため、インバージョンは行わなかった。

断層の位置はFig. 7に示す。ここでは、南部と北部の二カ所に断層をおいた。ただし、北部の断層は

Table 3 Parameters of a fault model of the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake.

	Southern Fault	Northern Fault
Rupture type	Homogeneous slip on a rectangular region. Thrust type dislocation without strike slip component.	
Fault Length (km)	55.0	62.0
Fault Width (km)	32.0	40.0
Depth of shallowest point (km)	0.5	5.0
Dislocation (cm)	560	400
Direction of Strike Line	North 14° West	North 17° East
Dip Angle (Degree)	50 (Descending to West)	30 (Descending to West)
Moment (dyne cm) ($\mu=3 \times 10^{11}$ dyne/cm ²)	2.9×10^{27}	3.0×10^{27}

南部の断層に比べて、奥尻島とその周辺の地殻変動に対する寄与は非常に小さい。逆にいえば、北部の断層のパラメータを奥尻島の地殻変動から拘束することはできない。したがって、この後の議論は、島のすぐ西側にあると考えられる、西に傾き下がる断層面に関するものとなる。モデルから期待される理論的な地表の地殻上下変動の分布を同じく Fig. 7 にコンターで示す。この結果によれば、仮定したモデルは大局的には推定された地殻上下変動を説明できる。

今回の断層モデルでは島のすぐ西側に破壊領域の上端があり、そして、島の西岸は最も沈降の大きい領域(沈降量70 cm程度)に含まれている。西に傾き下がる断層面を仮定すると、奥尻島に隣接する場所に地震破壊が発生したと仮定すれば、奥尻島の沈降量の推定値の大きさは大局的には説明できる。

ただし、このように破壊断層面が地表に近く測量データもその近辺にしかない場合は、数学的に定義した断層モデルによる理論値と実際の測定値が食い違う可能性は大きい。モデルでは考慮できない局所的な破壊面や地下構造の地域性などが、実際の地殻変動に大きく関わっていることが予想されるからである。実際、推定された上下変動は、地域的なばらつきが断層に近いと思われる島の南部で大きい。所により50 cm以上のばらつきが見られる。これらのばらつきが、測定の誤差に由来するものか、あるいは実際に生じたものか区別することは難しいが、現実

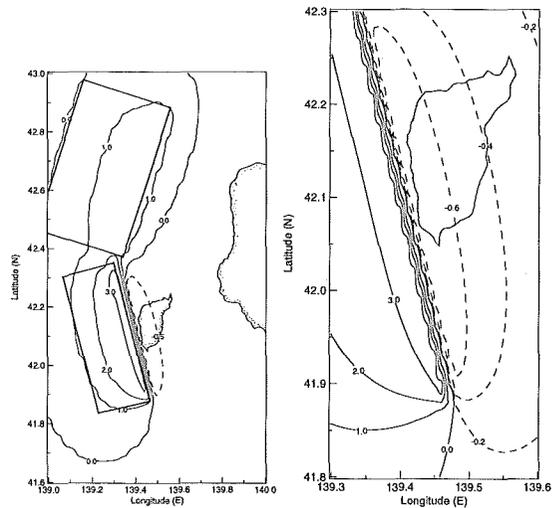


Fig. 7 Left: The surface projection of the fault model (rectangular) and the contour plot in meter of the distribution of synthetic vertical crustal movements. See Table 3 on the parameters for the calculation of synthetic movements. Right: The expansion of the left figure for the area around Okusiri island.

の地殻変動にばらつきがあった可能性が大きい。その場合、局所的な断層による地表付近の地殻破壊が、特に島の南部で生じていた可能性もある。地表付近の主断層の近傍には枝分かれした小さな断層が多数発生することが予想されることを考慮すると、島の南部の変動量のばらつきは、島の南西側が主断層の破壊面に近接していることを示唆している。

なお、この大きなばらつきが測定の誤差である可能性は小さいであろう。なぜならば、測定の誤差と仮定すると、奥尻港の験潮記録を用いた短期的な海面高変動の補正の部分に起因すると結論せざるおえないが、それは、たまたま各岩の高低測量の時にその岩付近の海面高が異常な振る舞いをしたことを意味する。しかし、ある岩付近だけの海面高の数10 cmの異常な振る舞いは、測量の当日が天候がよく大気圧も海況も安定していたことを考慮すると、可能性はほとんどないと思われる。

5. まとめ

水上岩の高低測量は、測定の際のばらつきが5 cm以下とかなり小さく、他の測定手法で得た結果とも調和的であることなどから、精密測量に比べれば精度は劣るものの、離島などでの地殻変動の見積りに有効な手法といえる。このことは、測定時に天候に恵まれたこと、測量をスムーズに行えたことも大きくかかわっている。このような条件がそろった場合には、海上の水上岩高低測量は、時間のかかる水準測量を必要としないため、海域で発生する巨大地震にもなつて生じる地殻上下変動を把握するためには有効な方法である。特に、比較的、地震にもなつた地殻変動の情報の少ない離島での地殻上下変動の推定には、前もって岩高が測定されている場合には今後も力を発揮することが期待される。

今回の結果から、ほぼ他の手法と整合性のある地殻変動が得られた。ただし、奥尻島内でのばらつきはかなり大きい。このことは、島が、地震の破壊領域に非常に近かったことを意味すると考えられる。それは、今回の地震の主断層が、島のすぐ西側に存在する西下がりの逆断層で、結果的に島のすぐそばでもっとも地表に近いことと整合もする。

今回、設定した断層モデルは、無数に考えられるモデルの中の一つにすぎないが、大局的には妥当なモデルになっていると思われる。もちろん、断層面の位置・形状、向き・方向・大きさなどを変化させればさらによりモデルができるかもしれない。実際、橋本ほか(1994)では、渡島半島のデータも含めて地殻変動データを説明するいくつかのモデルを計算し、最適なものを選択している。また、地殻変動データのインバージョンによって、最適モデルを計算する手法も構築されている(例えば、Matsu'ura and Hasegawa, 1987; Yabuki and Matsu'ura, 1992)。しかし、地殻変動のデータを取得できた地域が、奥尻島という小さい領域に限られており、それに比べて断層破壊の領域はずっと広いことを考慮すると、現時点では、奥尻島内の地殻変動データだけからモ

デルを特定することは妥当ではないと考えられる。

謝 辞

今回の研究に当たり、東北大学の長谷川昭教授、平澤朋郎教授には便宜を図っていただいた。また、現地測量においては、北海道開発局、北海道および三洋テクノマリン(株)および奥尻島の方々に協力していただいた。さらに、末廣専門官をはじめとする第一管区海上保安本部の関係の方々には測量を手伝っていただいた。国土地理院には験潮記録を提供していただいた。ここに、記して感謝の意を表します。

この研究は、科学技術庁の振興調整費「平成5年北海道南西沖地震に関する緊急研究」を使用した。また、一部の調査においては、各務財団からの助成金を使用した。

参 考 文 献

- 明田川保・岡本國徳・佐藤馨・森滋男：地震活動(余震分布と時間変化), 月刊海洋, 号外 No. 7 p. 12-20, (1994).
- 地質調査所：平成5年北海道南西沖地震に伴う奥尻島の地殻変動—海浜生物指標による計測—, 地震予知連会報, 51巻, p.81-85, (1994).
- 橋本学・小沢慎三郎・吉村愛一郎・鷲谷威・多田堯・辻広道：北海道南西沖地震に伴う地殻変動と断層モデル, 月刊海洋, 号外 No. 7 p.55-61, (1994).
- 日野亮太・金沢敏彦・末広潔・佐藤利典・島村英紀：海底地震計群列による1993年北海道南西沖地震の余震分布, 月刊海洋, 号外 No. 7 p.35-42, (1994).
- 北海道大学理学部：1993年北海道南西沖地震の余震活動, 地震予知連会報, 51巻, p.12-20, (1994).
- 今村文彦・高橋智幸・高橋武之：地震断層は西下がりか東下がりか—津波データからの解釈—, 月刊海洋, 号外 No. 7 p.179-184, (1994).
- 海上保安庁：沿岸の海の基本図(5万分の1)奥尻島, 海図第6325号, (1979).

- 気象庁：平成5年（1993年）北海道南西沖地震（7月12日 M7.8），地震予知連絡会会報，51巻，p.37-53，（1994）。
- 久家慶子・菊地正幸・J. Zhang：遠地実体波・表面波でみる北海道南西沖地震（1993年7月12日）の複雑な震源過程，月刊海洋，号外 No. 7 p. 21-28，（1994）。
- 熊木洋太・木佐貫順一・大谷知生・小野康・梶川昌三：海岸地形変化等からみた北海道南西沖地震時の奥尻島の地殻上下変動，日本地震学会1993年度秋季大会講演予稿集，A63，（1993）。
- Matsu'ura, M. and Hasegawa, Y. : A maximum likelihood approach to nonlinear inversion under constraint, *Phys. Earth. planet. inter.* Vol. 47, p.179-187, (1987).
- 瀬野徹三：概論：日本海東縁，一地震とテクトニクス一，月刊地球，Vol. 6 ,No. 1 (1984).
- 杉浦邦朗・岩淵義郎・内野孝雄編：水路測量，日本水路協会，（1977）。
- 都司嘉宜・加藤健二・荒井賢一・韓世燮・山中佳子：北海道南西沖地震津波の特徴，月刊海洋，号外 No. 7 p.110-122，（1994）。
- 堤昭人・鳴本利彦・宮脇昌弘・佐藤比呂志・川本英子：北海道南西沖地震に伴う奥尻島の沈降量，日本地震学会1993年度秋季大会講演予稿集，A62，（1993）。
- Yabuki, T. and Matsu'ura, M. : Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, *Geophys. J. Int.*, Vol. 109, p.363-375, (1992).