

14. 粟島の余効的変動

地震研究所 { 岡 田 惇
笠 原 慶 一

(昭和39年7月14日および昭和40年12月21日発表—昭和40年12月27日受理)

は し が き

地震にともなう地殻変形が完全に固定的なものでなく、地震後相当期間にわたる余効的な動きを示す場合のあることが知られている。南海道地震の際の室戸岬傾斜変動¹⁾や、丹後地震にともなう郷村・山田両断層の変動経過などはそのよい例であろう。

余効的変動は恐らく震源域の性状に深い関係をもつものと思われる。その様相を空間的および時間的なひろがりにおいて具体的に把握することは、震源域の性状や余震活動の機構——ひいては大地震の正体——の解明に貢献するところが多いと信じられる。

その重要性にもかかわらず、この種の現象に関するわれわれの知識は極めて乏しい。今回、新潟地震にともなう粟島地変の調査²⁾が行なわれたのを機会に、余効的変動の観測・測定を実施したのであるが、幸いにしてその様相の一端を明らかにすることができたように思われる。

最終の結果は今後長期にわたる調査にまつこととして、とりあえず現在までに判明した事実を以下に報告する。

比 較 検 潮

観測方式

今回のように調査対象が本土から隔離している場合は従来の方法——精密水準測量——を使うことができない。従つて、海水面を仲介にして、対岸本土の基準点に対する島の昇降運動を検出することにした。さきに渡海水準測量の補助手段として大野が試みた観測³⁾、あるいは津村が実施した、常設検潮所記録の解析による地殻変動の検出⁴⁾と同じ構想で、

- 1) A. OKADA and T. NAGATA, "Land deformation of the neighbourhood of Muroto Point after the Nankaido Great Earthquake in 1946," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 25 (1948), 85-90.
T. MATUZAWA, *Study of Earthquakes* (Uno Shoten, 1964), pp. 15-56.
- 2) 中村一明・笠原慶一・松田時彦 「新潟地震による粟島の地変」地震研究所研究速報 8 (1964), 73-90.
K. NAKAMURA, K. KASAHARA and T. MATSUDA, "Tilting and uplift of an island, Awashima, near the epicenter of the Niigata earthquake in 1964", *J. Geod. Soc. Japan*, 10 (1964), 172-179.
- 3) 大野鉄一 「津軽海峡渡海水準測量に及ぼす大気の影響」測地学会誌 2 (1956), 83-89.
- 4) 津村建四朗 「平均潮位の差から求めた地殻変動の研究」地震 [ii], 10 (1957), 67-78.

島内に臨時検潮所を開設した。2 地点間の比高またはその変化を測定するこの種の方式を比較検潮法と呼ぶことにしよう。

幸いにも、粟島は比較検潮に好適な立地条件に恵まれていた。その第一として、この海域の潮汐振幅が極めて小さい点があげられる。第二には、基準となるべき本土側検潮所が最寄りの地点に得られることである。第1図に示す鼠ヶ関検潮所(国土地理院)および岩船港検潮所(村上土木出張所)がそれであり、共に粟島から30~40kmの距離にある。

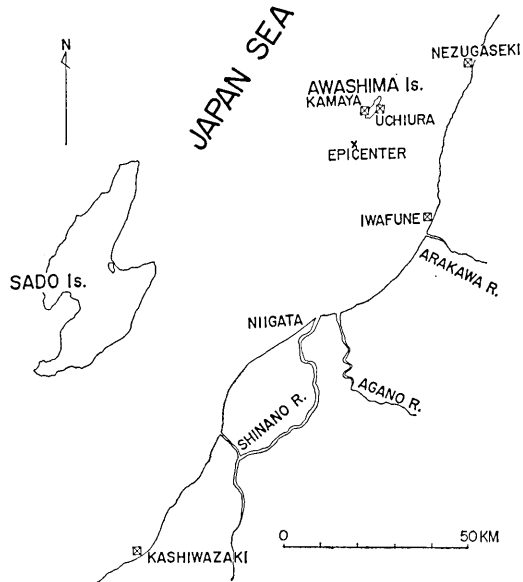
中介となる海水面の局地的変動の影響を避けるためにはこの距離が近いほど有利であるけれども、余り近くなると基準点自体が余効の変動の範囲内に含まれる恐れが生じてくる。当初は、両者共この恐れはないものと思われていたが⁵⁾、観測結果から見るとこの仮定は再考慮を要するようである。その点については後で考察を加えることにしよう。

島内での検潮は、地震研究所高橋研究室が考察・製作した携帯用検潮儀を東岸の内浦港と西岸の釜谷港に1台ずつ設置して行なわれた。計器構造の概略、観測開始状況および記録解析方法等は速報⁶⁾に記載してあるので、ここでは説明を省略する。

観測結果

上記の検潮儀は長期使用を目的に設計されたものではなかつたにもかかわらず、安定に作動して良い資料をもたらした。ただし秋季に入るに従って、内浦では漂砂による港内埋立て、釜谷では風浪による妨害のために観測は次第に継続困難に陥つた。第2図は6月19日の観測開始時から9月下旬に至るまで、すなわち上記諸障害に悩まされなかつた期間の観測結果である。

同図中の白丸は毎日の干潮・干満時における内浦・釜谷の潮位と鼠ヶ関・岩船のそれとの差を示すもので零位置は適当にとつてある。これらの関係諸港における海水表面が常に



第1図 検潮所所在配置図
□ 検潮所

5) 笠原慶一・佐々木幸一・松本滋夫「粟島隆起の余効の変動」地震研究所研究速報8(1964), 101-105.

6) *loc. cit.*, 5)

同じ形態のまま昇降しているものならば、潮位は陸地の変動がない限り一定値を示す筈である。同図中の白丸の配列に潮汐の影響分が抑制されているのは、この仮定が一応妥当である証拠であろう。詳しく見ればある程度バラツキが認められるけれども、これは気象学的あるいは海洋学的要因による海水表面の局所変動が実在するためと思われる。その詳細を考察するのは本文の目的ではないが、この種の不規則変動は時間的平均をとることによつて大幅に除去できるものと考えてよからう。

第2図中の黒丸は、この見地から15日の幅をもつて単純移動平均を施した結果を示す。岩船を不動と仮定すれば、粟島は地震にともなう上昇(0.8~1.5 m)とは逆向きの沈降を余効的に続け、観測期間中に当初上昇量の約1割に相当する10~20 cmを回復した様相が著しい。これをやや模式的にすれば破線のようになり、時定数2~3週間の指数曲線的経過が考えられそうである。

一方、鼠ヶ岡に基準を置いた結果はこれと全く調和せず、余効的沈降があつたにしても破線で示す程度の微小量に過ぎない。これは、鼠ヶ岡・岩船を共に不動とする当初の予想に全く反する結果であり、考察を進めるためには基準検潮所を更に遠隔の地に求めると共に海岸測量を再度実施することになつた。

反 覆 測 量

海岸測量

粟島隆起の状況を調査する目的で海岸測量を行なつたのは、地震直後の昭和39年6月下旬のことであつた。隆起海岸に残る旧汀線の痕跡と海水面との比高を測定するその測量の手段と結果は既刊報文に記されている⁷⁾。この場合問題になる測定精度は、±10 cm程度と見込めば安全と思われる。(相対値についてはこれを上廻る精度が期待できよう)。従つて余効的変動がこの精度を上廻る量に達しているとなれば、再測量によつてこれを検出できることになる。

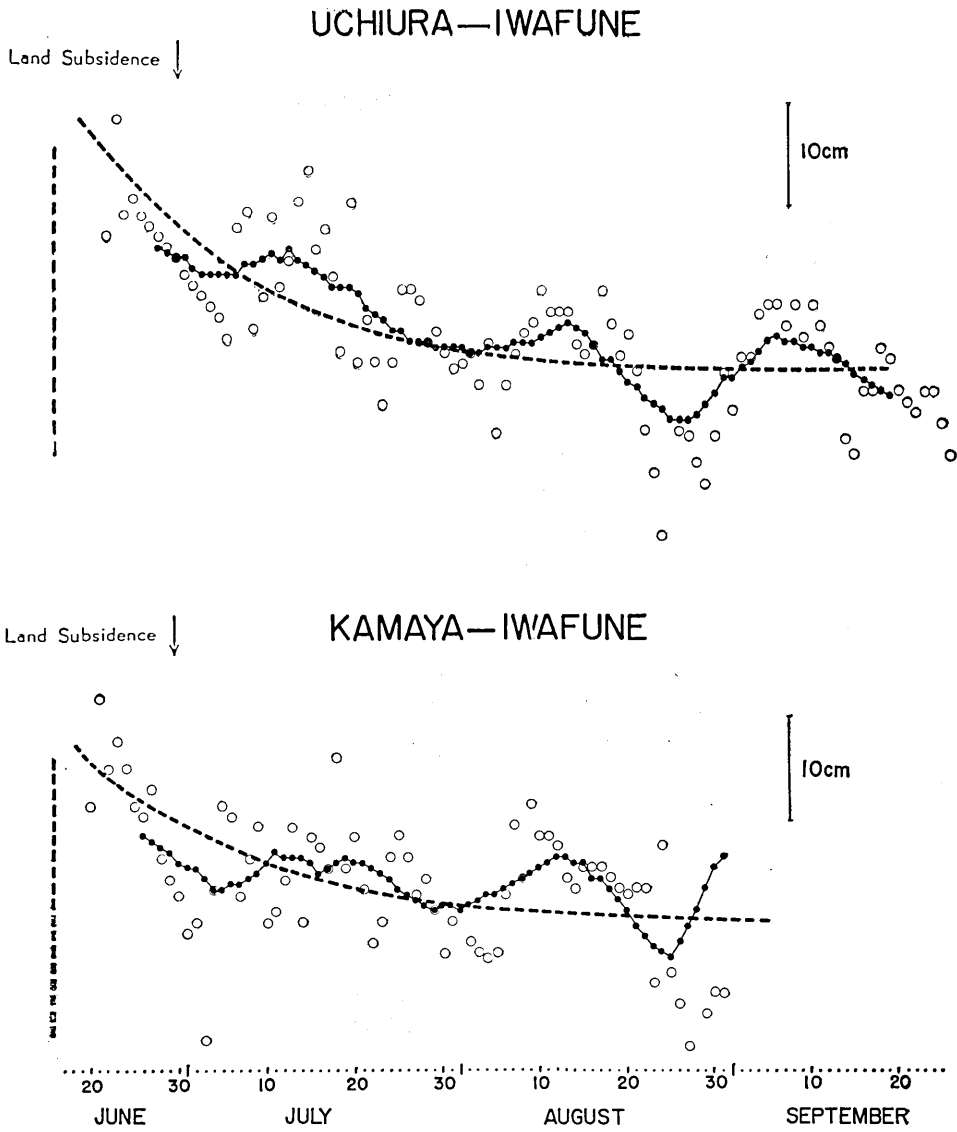
新潟地震から正1カ年を経過した今年6月15日、16日同島において海岸測量を実施する機会を得た。この場合、最高の精度を確保するためには前回と同一地点において同一目標を視準するのが望ましい。前回測定地点の写真比較等の手段を尽して目標物確認に努めたけれども、漂砂をはじめとする現場状況の変化のためこれが不可能な測点も少なくなかつた。これらにおいては岩肌にまだ残つている白縞の上縁を代用した。測点と海岸水準測量の様子は第7図~第8図に示してある。

前年測定値との比較

現地で測定した比高に補正を加える過程は前回と同様であるが、第3図に示す模式に従つてこの手続きを簡単に考察して見よう。

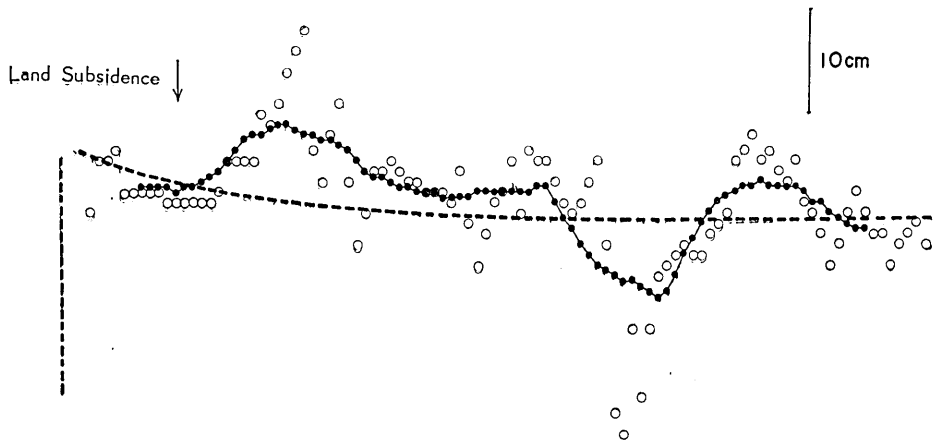
第3図左端は前回粟島で行なつた海岸測量を略示するもので、 h^* は測定時点における潮位に対する旧汀線目標(M_a)の比高である。必要な補正は Δh と $\Delta h'$ の2種類が考え

7) loc. cit., (2)

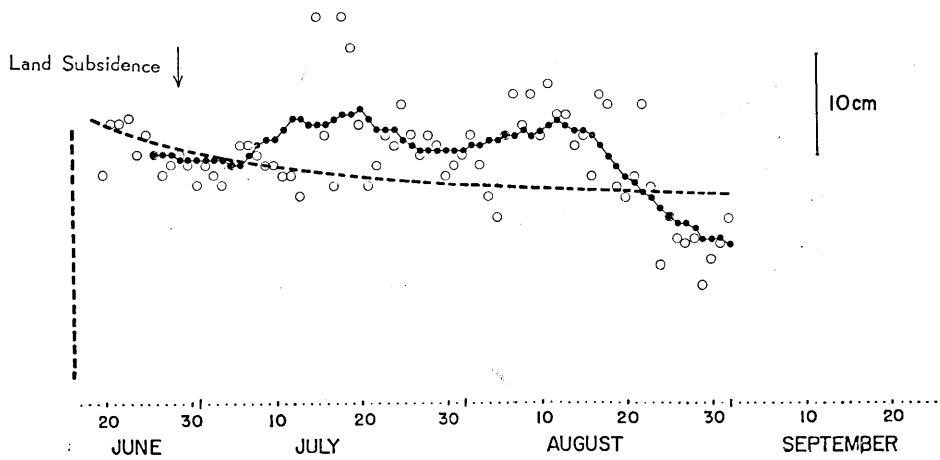


第2図 1964年6月新潟地震直後より同年9月

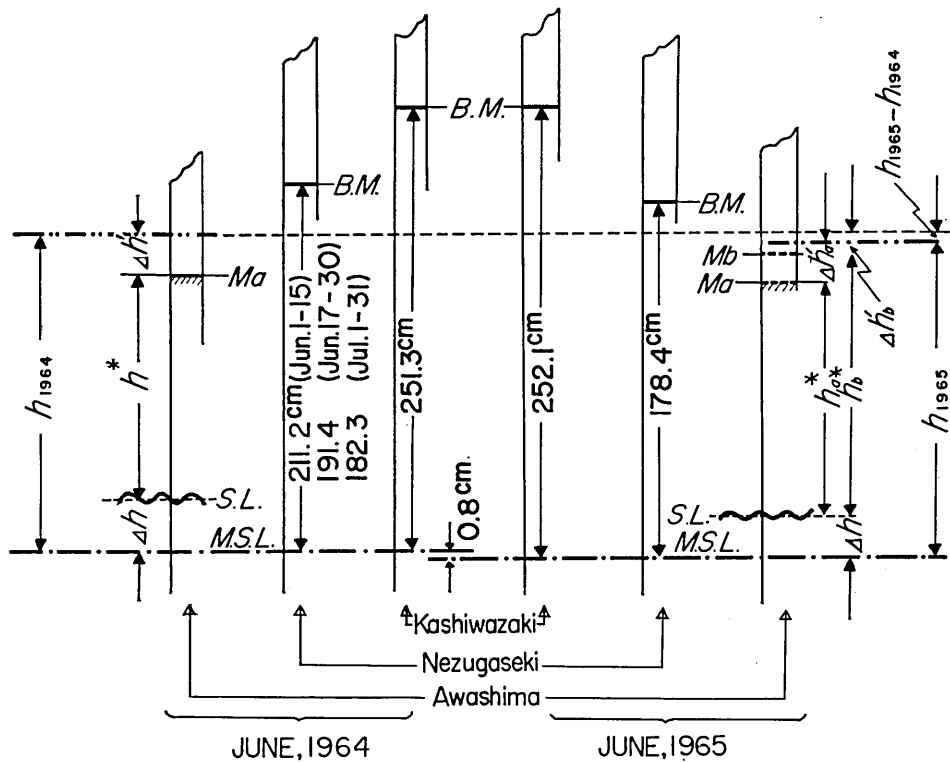
UCHIURA—NEZUGASEKI



KAMAYA—NEZUGASEKI



に至る期間における栗島潮位の時間的变化



第3図 海岸測量と補正量の相互関係

られる。 $\Delta h'$ は目標痕跡と地震前平均潮位との間隔に相当するもので、海洋性の生物学的考察から 15 cm と求められたことは前報告記載の通りである⁸⁾。一方 Δh は測定時潮位を平均潮位に換算するためのもので、粟島の臨時検潮所を中継して鼠ヶ関における平均潮位 (6月17日からの18日間の平均潮位) を基準にとつた。

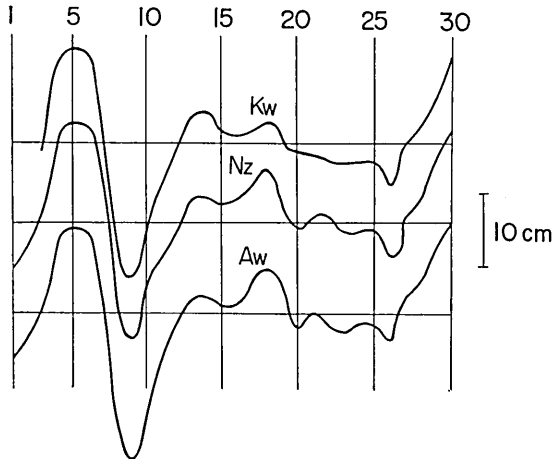
今回も、前回と同一目標が確認できた測点については $\Delta h'$ として同じ値を用いればよい (第3図右端にある $\Delta h_a'$ はその場合を意味する)。同一目標を確認し難い測点では岩肌に残る白縞の上縁を視準したので、これに対する補正量 $\Delta h_b'$ は前述の値と異なる筈である。現地と比較した結果、 $\Delta h_b'$ としては $\Delta h'$ (= $\Delta h_a'$) より 10 cm 少なくとればよいことが判つた。

残る補正量 Δh については、第2回測量時の平均潮位が前回測量当時と同一水準にあるか否かが問題になる。すでに述べた事情により、鼠ヶ関の検潮資料でこの問題を判断するのは適当でない。なぜならば鼠ヶ関も余震的変動の影響を受けている可能性があるからである。柏崎は今回の震源から更に離れているので、ここにある検潮所 (国土地理院) を基

8) *loc. cit.*, 2)

準にとることとする。第4図は粟島(水路部), 鼠ヶ関, 柏崎(国土地理院)の昭和40年6月における日平均潮位曲線を示し3地点の検潮所間においては特別な異常潮位は認められない。柏崎における月平均潮位は, 昭和39年6月と昭和40年6月とで0.8cmの差を示すに過ぎない(第3図)。従つて, 柏崎の不動を仮定すれば, 新潟沿岸の平均潮位は2回の測量時相互間で大幅な変化はしていないと判断してもよいであろう。

昭和40年6月1日より水路部の検潮所が粟島(内浦)に開設されたので6月中の平均潮位はこの資料に基づいて求め, 潮位補正(Δh)は直接(鼠ヶ関を中継することなく行なうことができた。第1表および第5図はこのようにして求めた第2回測量結果(測点数11ヶ所)を第1回の結果と比較して示す。



第4図 昭和40年6月1日より30日における粟島内浦(水路部), 鼠ヶ関, 柏崎(国土地理院)各検潮記録より得られる日平均潮位曲線。

第1表 粟島沿岸測量結果

No.	地点名	月日	時分	h^*	Δh	h_{1965}	h_{1964}	沈下量																																																																																							
			h m	m	cm	m	m	cm																																																																																							
1	旗 崎	6/15	9.30	+1.08	+ 4}	+1.10	+1.32	-22																																																																																							
			10.40	+1.02	+ 5}				2	鳥 崎	6/15	10.10	+1.10	+ 4	+1.14	+1.35	-21	3	遠 貝 栗	"	10.37	+0.71	+ 5	+0.76	—	—	4	仏 崎	"	11.00	+0.69	+ 6	+0.75	+0.90	-15	5	立 島	"	11.42	+0.62	+ 8	+0.70	+0.88	-18	6	釜 石	"	12.18	+0.66	+12}	+0.78	+0.99	-21	13.30	+0.64	+13}	7	矢 ケ 鼻	"	14.20	+0.94	+13	+1.07	+1.09	- 2	8	ウ グ リ	"	14.30	+0.95	+13	+1.08	+1.27	-19	9	ハ ゲ ノ ハ マ	"	16.29	+1.29	+ 9	+1.38	+1.57	-19	10	内 浦 (a)	"	17.50	+1.21	+ 2	+1.23	+1.34	-11	11	" (b)	6/16
2	鳥 崎	6/15	10.10	+1.10	+ 4	+1.14	+1.35	-21																																																																																							
3	遠 貝 栗	"	10.37	+0.71	+ 5	+0.76	—	—																																																																																							
4	仏 崎	"	11.00	+0.69	+ 6	+0.75	+0.90	-15																																																																																							
5	立 島	"	11.42	+0.62	+ 8	+0.70	+0.88	-18																																																																																							
6	釜 石	"	12.18	+0.66	+12}	+0.78	+0.99	-21																																																																																							
			13.30	+0.64	+13}				7	矢 ケ 鼻	"	14.20	+0.94	+13	+1.07	+1.09	- 2	8	ウ グ リ	"	14.30	+0.95	+13	+1.08	+1.27	-19	9	ハ ゲ ノ ハ マ	"	16.29	+1.29	+ 9	+1.38	+1.57	-19	10	内 浦 (a)	"	17.50	+1.21	+ 2	+1.23	+1.34	-11	11	" (b)	6/16	9.00	+1.19	+ 6	+1.25	—	—																																										
7	矢 ケ 鼻	"	14.20	+0.94	+13	+1.07	+1.09	- 2																																																																																							
8	ウ グ リ	"	14.30	+0.95	+13	+1.08	+1.27	-19																																																																																							
9	ハ ゲ ノ ハ マ	"	16.29	+1.29	+ 9	+1.38	+1.57	-19																																																																																							
10	内 浦 (a)	"	17.50	+1.21	+ 2	+1.23	+1.34	-11																																																																																							
11	" (b)	6/16	9.00	+1.19	+ 6	+1.25	—	—																																																																																							

h^* : 任意時刻における汀線隆起高測定の平均値

Δh : 粟島近海中等海水面への補正量

h_{1965} : 1965年6月15日~16日, 1964年6月20日~23日当時の測定隆起高

h_{1964} :

これらを見て判るように相当量の沈降が認められる。測点毎のバラツキが大きいのは測定方法の精度から止むを得ないと思われるが、一般に 10~20 cm 程度の沈降が過去 1 年間に起きたことはほぼ確実と思われる。

また、第 1 表に示してある h_{1965} を、前回同様の手続きによつて処理したところ傾動に関する量として次の結果を得た。

$$\left. \begin{aligned} \text{傾動角, } \varphi &= 46''.5 \pm 5''.8 \\ \text{傾動軸方位, } \theta &= 23.3 \pm 13.4 \end{aligned} \right\}$$

ところで前回の測量によれば⁷⁾,

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= 55''.7 \pm 5''.0 \\ \theta &= 28.6 \pm 2.6 \end{aligned} \right\}$$

従つて θ については特筆すべき変化が認められない。 φ については約 10'' に達する差が数値的には見られるが、確率誤差の大きさを併せ考えると確定的なことはいえない。ただし、もしも傾動に余効があつたとすれば、それは地震時の動きを回復する向きであつたといふとどめたい。

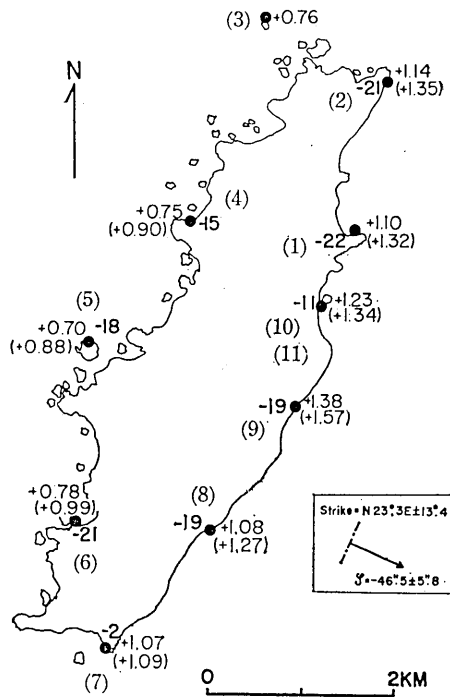
鼠ヶ関の変動

前述のように、2 回の測量時期相互間で新潟近海の平均潮位に事実上変化がなかつたと推定すれば、鼠ヶ関の検潮記録からその変動経過を求めることができる。検潮所附属の固定水準点の平均潮位に対する比高は各時期において次のように算出されている (第 3 図参照)。

昭和 39 年 (1964) 6 月 1 日~15 日間平均:	211.2 cm,
" 17 日~30 日間 "	: 191.4 "
" 7 月 1 日~31 日間 "	: 182.3 "
昭和 40 年 (1965) 6 月 1 日~30 日間 "	: 178.4 "

従つて上記の見地によつて推定される変動は

昭和 39 年 (1964) 6 月上旬~6 月下旬	: 19.8 cm 沈降
" 6 月下旬~7 月下旬	: 9.1 " 沈降
昭和 39 年 (1964) 7 月~昭和 40 年 (1965) 6 月:	13.0 " 沈降



第 5 図 1964 年 6 月, 1965 年 6 月の 2 回の測量結果とその比較。括弧内および外側の細字は、前回および今回の測量結果より得られた隆起高, 内側太字は両表の差を示す (単位はいずれも cm)。

という量が見込まれる。これは他の研究者によつて指摘されている傾向と矛盾するものでない。

以上の諸資料を念頭において第2図を再検討すれば、粟島（内浦，釜谷）対鼠ヶ関の曲線が殆んど平坦に見えるのは、両地域に同じ程度の余効的変動が起きたことを暗示するものと解釈される。また岩船における余効的変動は實際上無視できる程度に小さく、従つて岩船に準拠した曲線はほぼ粟島の真の変動を現わすと考えれば、これら一連の観測事実を矛盾なく説明することができよう。

重力測定

今回の海岸測量を行うのを機会に島内各所において重力測定も併せて実施した。それは、昨年8月に粟島地変総合調査の一部として行なわれた重力測定の結果⁹⁾と比較し重力変動の有無を検討しようとするものである。比較測定の対象となつた測点名および測定結果は第2表および第6図に示されている。

測定および補正上の各種誤差を考慮すれば、これら図表上の数字の精度は約0.1 mgalと見積られる。従つてこれを超えるような変化は見出されなかつたといえよう。第9図には重力測定作業の一例を示した。

第2表 粟島重力再測結果

No.	地点名	g_{1964}				g_{1965}				変化量
		$H+h$	$(H+h) \times 0.3086$	補正值	980.	$H+h$	$(H+h) \times 0.3086$	補正值	980.	
		gal	m	mgal	gal	gal	m	mgal	gal	mgal
0	内 浦	10274	0.27*	0.08	10282	10273	0.21*	0.06	10279	-0.03
1	小柴山三角点	04683	0.12*	0.04	06487	06480	0.12*	0.04	04684	-0.03
3	釜 谷	11333	1.12	0.35	11368	11317	1.79	0.55	11372	+0.04
5	大阪山三角点	05549	0.10*	0.03	05552	05549	0.10*	0.03	05552	± 0
6	旗 崎	10297	2.14	0.66	10363	10299	1.54	0.48	10347	-0.16
7	鳥 崎	10844	2.00	0.62	10906	10850	1.43	0.44	10894	-0.12
8	遠 貝 粟	11715	1.68	0.52	11767	11725	1.10	0.34	11759	-0.08
10	仏 崎	11680	1.37	0.42	11722	11679	1.13	0.35	11714	-0.08
11	立 島	11614	2.17	0.67	11681	11610	1.93	0.60	11670	-0.11
13	矢 ケ 鼻	11126	0.91	0.28	11154	11071	1.34	0.41	11112	-0.42
3	ハゲノハマ	10320	1.06	0.33	10353	10289	1.39	0.43	10332	-0.21

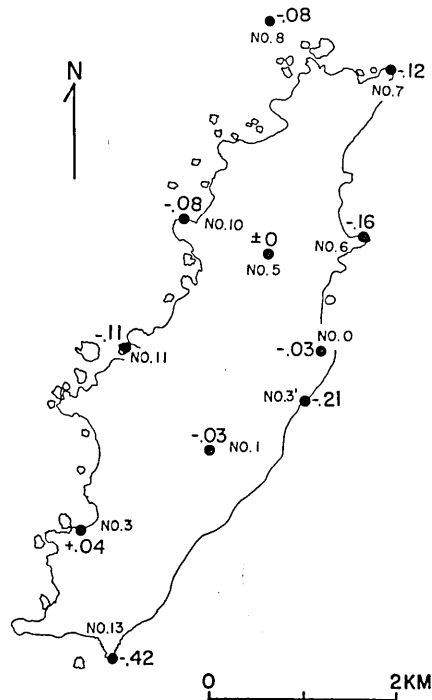
H : 測定点における標高

h : 測定点より重力計までの高さ

* : 測定点の位置が明確でその場所での重力値で比較してある点

g_{1965} } 1964年8月, 1965年6月それぞれの重力値
 g_{1964} }

9) 笠原慶一・萩原幸男・田島弘一・川田 薫 「粟島およびその周辺海域における重力測定」地震研究所彙報 44 (1966), 261-271.



第6図 重力の変化を示す

標識埋設

前回の測点を確認することは海岸測量・重力測定共、比較作業に当つての重要な問題であるが、自然標識は意外に不安定であることが痛感された。粟島の変動経過を今後長期にわたつて追跡することは地震現象および造構造運動の本質を理解する上に極めて重要と思われるので、今回の測量に際し島内要所5カ所にステンレス製標識を埋設して今後の調査に資することにした。水路部によつて開設された恒久的検潮所と相俟つて、粟島をこの研究分野の実験場として活用する上に役立てば幸いである。標識埋設点は筑崎、ハゲノハマ、釜谷、内浦等の測点で第10図にその一例を示す。

む す び

地震後3カ月にわたる臨時検潮作業および地震の1年後に実施した測量作業を既存の資料と比較した結果、次の諸点が明らかにされた。

1. 粟島地変の余効的変動はあつたものと考えられる。粟島は地震にともなつて隆起とは逆向きの変動を示し、過去1カ年間に当初変動量の約1割に相当する10~20cm程度沈降した。傾動についてはやはり地震当時の動きを回復する向きの余効があつたとも見られるが、量的には確定し難い。



旗崎 (No. 1)



矢ヶ鼻 (No. 7)



ハゲノハマ (No. 9)

(上) 水路部粟島内浦検潮所
(中, 下) 内浦港 (No. 11) 海岸水準測量
第 7 図

第 8 図



旗 崎 (No. 6)



エンガイグリ (No. 8)



下村上市神納小学校校庭内
GSI. BM. No. 6489
(本土側測点)

第9図 重力測定



(上, 中, 下) 旗 崎 (No. 1)
第10図 標識埋没

なお関連資料から推定すれば、岩船の変動は無現できる程度に小さく、鼠ヶ関は粟島と同程度の沈降をした模様である。

2. 粟島の余効的変動の大部分は、地震直後の1カ月間にすんでしまったようである。それから推定すれば今後顕著な変動が進行する可能性は低い。

3. 島内の重力値に有意義な変化は認められない。

謝 辞

本調査遂行に当り現地粟島における諸種の測定あるいは整理について多くの方々の御協力と御援助を得た。すなわち

粟島内浦、釜谷における臨時検潮観測には粟島浦村小中学校大竹清、同釜谷分校松本猛両氏、

重力測定、海岸水準測量には地震研究所田島広一、佐々木幸一、松本滋夫の諸氏、傾斜変動量計算プログラムは佐藤泰夫教授、

第1回観測における測点比較のための写真等資料は中村一明助教授、

また検潮記録等貴重な資料を提供された水路部海象課および国土地理院測地部第三課、以上記してそれぞれ関係の方々に謝意を表する。

14. *Postseismic Subsidence of Awashima Island.*

By Atusi OKADA and Keichi KASAHARA,
Earthquake Research Institute.

The writers worked out geodetic surveys on Awashima Island for the purpose of detecting postseismic effect in the land deformations thought to be associated with the Niigata Earthquake of 1964. The surveys were made by the following two techniques: *differential tide observation*, i. e. to compare tide-gage records at the Awashima (Uchiura and Kamaya) stations with those at neighboring stations on the mainland coast, and,

resurvey of the previous sea level by use of biological mark remaining on the vertical surface of rock.

It was discovered that the upheaved land was subject to gradual subsidence as much as 10~20 cm, majority of the readjustment being made during the first two or three weeks after the event. Data seemed also to indicate postseismic tilting of the recovery aspect, though its magnitude could not be determined accurately.

Gravity resurvey, which was made in parallel with the resurvey of coastal mark, did not indicate any postseismic effect in gravity amounting to 0.1 mgal or larger.