HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	えりもにおける地殻変動連続観測　1971
Author(s)	笠原，稔；田中，安守；横山，泉
Citation	北海道大学地球物理学研究報告，28，83-95
Issue Date	1972-11-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.28.83
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14024
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p83-95.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University
Vol. 28. October, 1972, p. 83-96.

えりもにおける地殻変動連続観測 —1971—

笠原 稔・田中安守・横山 泉
北海道大学理学部附属えりも地殻変動観測所

(昭和47年4月28日受理)

Observation of Crustal Deformation at Erimo in Hokkaido —1971—

By Minoru KASAHARA, Yasumori TANAKA and Izumi YOKOYAMA
Erimo Geophysical Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received Apr. 28, 1972)

The Erimo Geophysical Observatory was established in April 1971, for the purpose of studying the relations between crustal deformation and earthquake occurrence. The observation consists of the continuous one at the observation gallery and the local geodetic surveys at surrounding area including Erimo Cape. The observation gallery is dug in a hill near the sea, about 600 m in distance, and has the total length of about 160 m. Main instruments installed in the gallery are 2 components of water-tube tiltmeters of 30 m long, 3 components of silica-tube extensometers of 30 m long, 2 components of horizontal pendulums of Ishimoto type and 4 transducers of an electromagnetic seismograph.

The local geodetic network contains the route of precise levels of the Geographical Survey Institute and several base-lines connecting the triangulation points and other base points around the observatory. The local geodetic survey will be repeated every year or 2 years.

The continuous observation of crustal deformation by the tiltmeters and the extensometers has been carried out since the middle of 1971. In this paper the results of the observation during the year of 1971 are reported.

For a while after the beginning of the observation, the tilt of the ground behaved in complexity but at the end of 1971 it began to take the north-downward direction. This tendency agrees with the results obtained by the past resurveys of the precise levels in this region. The variations in linear strain, especially in E_{AB}-and E_{CD}-components, observed during the 5 months may be regarded as artificial disturbances, i.e. some aftereffects due to cutting of the gallery and to contraction of its wall concrete.

All components in linear strain have been found to change remarkably with water-discharge from the gallery. In future, we hope, it may be possible to eliminate quantitatively the effect due to water-discharge.

The deformations of the ground caused by the ocean tides are clearly recorded by the extensometers as well as by the tiltmeters, because of the situation of the observatory near the sea. The resultant tilt amounts to 0.04 seconds of arc in southwest-direction by one meter rise of sea level and, in this case, the maximum principal strain amounts to an extension of 1.88×10^{-7} in S70°W direction. This direction is perpendicular to the coast line near the observatory.

In this observation period, many strain steps accompaning the earthquakes were registered by the extensometers. Typical examples are those caused by the main shock (M = 7.0) of the Off Erimo Cape Earthquake of Aug. 2 and one of its aftershocks (M = 5.8). Detailed discussion about the strain steps will be made in the near future.

I. はじめに

地震予知研究計画で地殻変動連続観測部門が昭和40年度から実施にうつされ，各研究機関にわたり全国的に観測所が新設されてきた．えりも地殻変動観測所は，昭和45年度の計画に基づくもので，第10番目の観測所として昭和46年4月に竣工した．この種の観測所としては北海道で唯一のものである．昭和46年5月より各種観測計器の据付けを行ない，水管傾斜計による傾斜観測は同年6月中旬より，石英管伸縮計による伸縮観測は同年7月下旬より常時観測を開始した．ここでは，当観測所の概要と昭和46年中に観測された傾斜および伸縮について述べる．

II. 観測所および観測器械

当観測所は，北海道幌泉郡えりも町字本町のえりも町有地内にあって，東径143°09′41″，北緯42°00′57″，標高約40 m の地点である．観測所は庁舎と観測坑から成るが，これらは直結している．Photo I は庁舎の外観である．この写真で庁舎に向かって左側に見えるのが観測坑の入口である．もちろん，庁舎からも連絡できるようにしてある．Fig. 1 に，観測坑の形状および各観測計器の配置が示されてある．観測坑は，古生層の粘板岩から成る山に掘られた延長約160 m の鉄筋コンクリート巻立の水平坑であり，山の被覆厚は40～50 m である．坑内温度は約9°C である．諸計器の据付けられる端点はすべて花崗岩の台石が用いられており，注意深く露岩との接着が行なわれている．

地殻変動連続観測のために観測坑内に設置されている主な器械は，30 m 長水管傾斜計2成分，30 m 長石英管伸縮計3成分および水平振子型傾斜計2成分である．Table 1 にこれらの計器の諸定数を示してある．水管傾斜計は1971年6月中旬から，石英管伸縮計は同年7月下旬からそれぞれ常時観測に入った．現在，水平振子型傾斜計は調整中である．

記録方式は次の様になっている．

水管傾斜計は，両端の壺の水位を顕微鏡を用いて直接読み取る方式であり，分解能は水位の差1 μ で0.0067秒角の傾斜に相当する．現在毎日2回，10時と16時に読み取りを行なっている．一つの壺に対して3回の読み取りを行ない，それらの平均値を観測値としている．

Photo. I. An outside view of the Erimo Geophysical Observatory. On the left side of the observatory there is the entrance of the observation gallery.

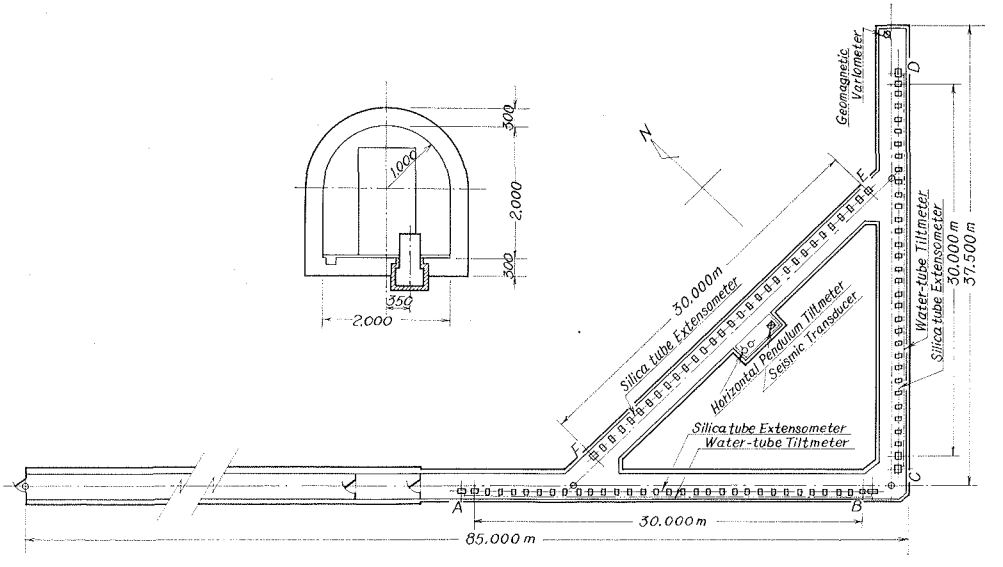

Fig. 1. Arrangement of the instruments in the observation gallery.

Table 1. Constants of the instruments.

Instrument	Symbol	Azimuth	Recording method	Sensitivity
Silica-tube extensometer	E_{AB}	N 45° W	Digital	1.8×10^{-9}/mm
	E_{CD}	N 45° E	〃	〃
	E_{EF}	E–W	〃	〃 and 9.0×10^{-9}/mm
Water-tube tiltmeter	T_{AB}	N 45° W	Direct reading	0.0067″/micron
	T_{CD}	N 45° E	〃	〃
Horizontal pendulum tiltmeter	HT	N–S E–W	Optical in preparation	
	Period	Component		Magnification
Electromagnetic seismograph	1.5s	Z NS EW	Optical	6000
	3.5s	Z		

石英管伸縮計は，外径 26 mm，肉厚 2 mm，長さ 2 m の石英管 15 本を溶接し 30 m 長としたものを用い，検出器として差動変圧器を用いて，各成分毎にアナログ自動連続記録をとっている．感度検定のために，既知量の変位がネジ式マイクロメーターを用いて検出器に与えられるようになっている．さらに，このマイクロメーターは直流モーターで駆動できるようにしてあり，坑外から記録紙上の位置の修正が可能になっている．また，石英管上に目印を入れ，顕微鏡を用いてその目印の変位を，固定された 1 μ 目盛のスケール上で読むことにより，絶対測定が行なえるようにしてある．Photo II は，伸縮計自由端部分であるが，左側が絶対測定装置部分であり，右側が検出器および感度検定装置部分である．

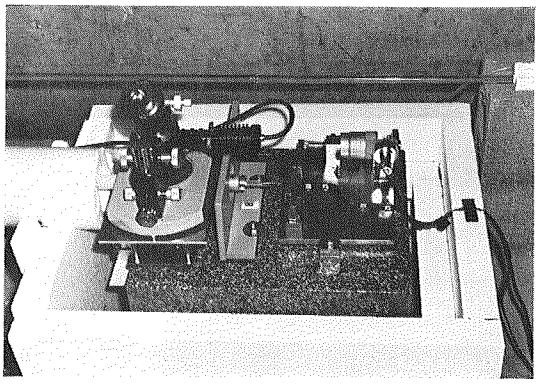

Photo. II. Free end of a silica-tube extensometer. Left side; equipment of absolute measurement. Right side; sensor and calibrating apparatus.

この他に，屋外では気象要素（温度・湿度・雨量・気圧）の測定と，特に土地の伸縮に関係のある坑内からの湧水量の測定を行なっている．

これらによる観測結果は，連続観測とはいえ，たかだか 30 m という基線について得られるものであるから，これが周辺のより広範囲な地殻変動を代表するものであるかについて，Fig. 2 に示すような局地測量網による観測結果と比較する必要がある．Fig. 2 に示された水準路線は，

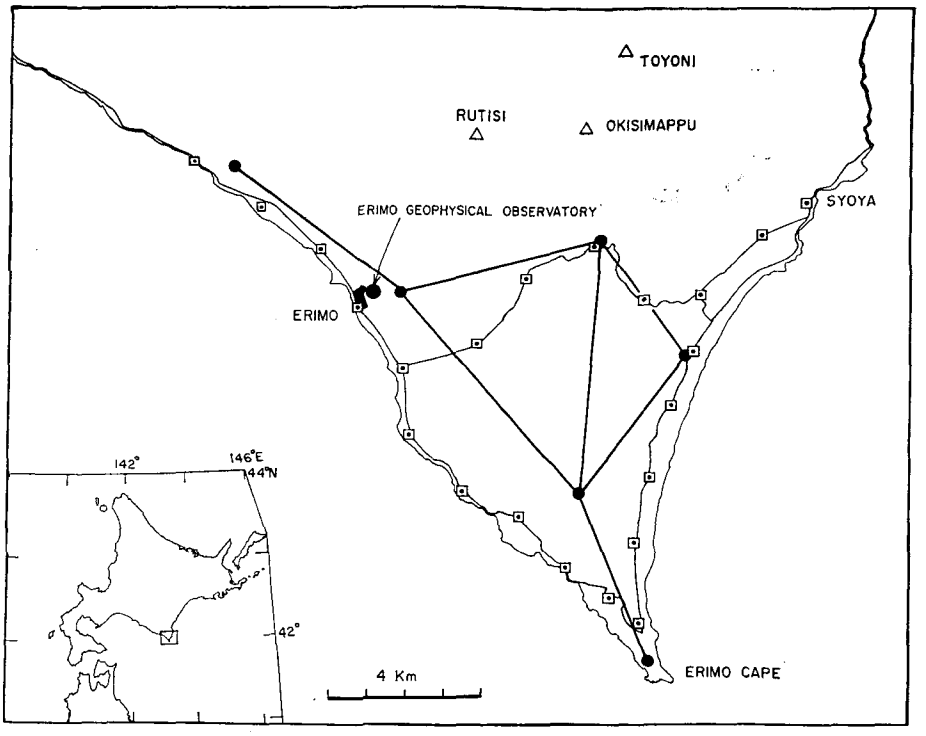

Fig. 2. Levelling route (~⊡~) and base-line network (solid line) set in the vicinity of the Erimo Geophysical Observatory.

国土地理院の一・二等水準路線である．当観測所では，これを1，2年の間隔で測量を行ない，傾斜計の観測結果と比較する計画である．Fig. 2 に実線で示されてあるのは，当観測所が新設した辺長測量基線網である．これは，光波測距儀（ジオジメーター6A型）を用いて 5 mm+10^{-6}·D の精度で測定する．比較的簡便に測定が行なえるので，一年未満の間隔で測定を繰り返し，伸縮計の観測結果と比較する計画である．

なお，当観測所の北西 30 km にある同じく理学部附属の浦河地震観測所（国際コードKMU）の衛星観測点として，観測坑内に，電磁式地震計を4台設置して地震観測も行なっている．国際コードは ERM である．諸定数をTable 1 に示してある．

III. 観 測 結 果

1. 傾 斜 変 化

毎日 10 時，16 時の 2 回の読み取り値の平均値を各日の値として黒丸でプロットしたのが Fig. 3 である．実線は，その値の 5 日間を移動平均したものである．Fig. 3 には，1971 年 6 月 12 日から 1972 年 1 月 11 日までの 7 カ月分が示されている．Fig. 4 は両成分を合成した傾動ヴェクトル図である．これは 5 日間の移動平均値の 5 日毎の値を用いて作られてある．ヴェクトルの向いた方向に下がったことを意味している．これらを見ると，観測開始後 9 月始めまで

は複雑な傾斜変動をしているが，それ以後は落ちついてきていることがわかる．12月始めまでは，両成分共に比較的安定しており，約2週間周期の変動が見られる．これは，海洋潮汐の長周期変動に対応するものと考えられる．12月以降かなりはっきりしたA下り，D下りの傾向が現われてきている．これは，北下りを意味している．これが，この地域の真の傾動であるかは，もう少し長期間の観測に待たねばならない．その一つの理由としては，次に述べる伸縮変化の様子から，今なおトンネル掘さくやコンクリート収縮などの人為的影響が皆無とはいい難いからである．しかしながら，7カ月を通じてみて，T_{AB} 成分の最大0.2秒角，T_{CD} 成分の最大0.1秒角という傾斜変化は異常という程の大きさではない．

この周辺で行なわれた過去の水準測量の結果から，中井 (1966) は，当観測測所を含む地塊がN 15° W 下りの傾動を示しているという．同様な結果から，YOKOYAMA and ARIMATSU (1971)

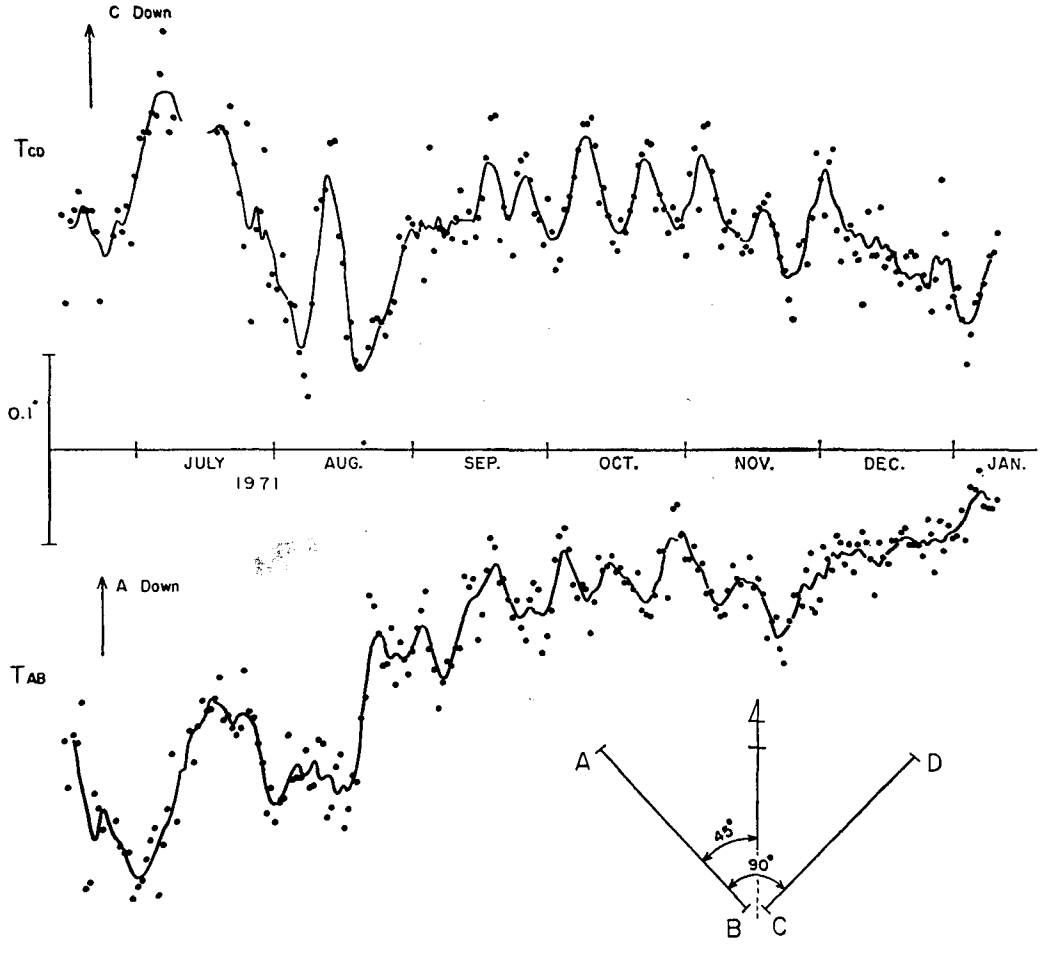

Fig. 3. Daily variation in T_{AB} and T_{CD} component of the tilts observed by water-tube tiltmeters. Solid lines show the running mean for successive 5 days.

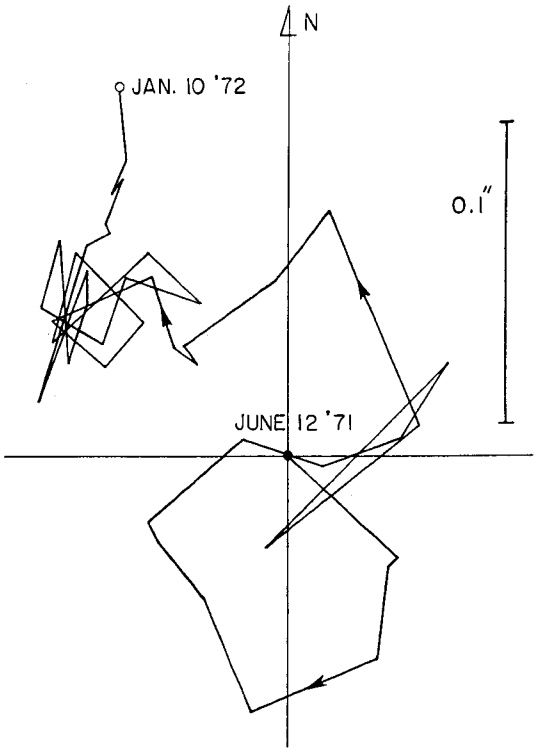

Fig. 4. Vector diagram of ground tilt observed by the water-tube tiltmeters.

は，1968年十勝沖地震 (M=7.9) で，この周辺が南下りの傾動を行ない，その後それが復活しているらしいと述べている．これらの事実は，最近の水管傾斜計の観測に現われている北下りの傾向と一致する．ともあれ，彼らにより議論されている諸問題も観測結果が集積するにつれてより詳細に検討できるものと期待される．

2. 伸 縮 変 化

3成分の観測が開始されたのは，1971年7月26日からである．毎時の観測値を日平均したものを，1971年12月31日までの期間についてプロットしたのが，Fig. 5の上方3曲線である．低感度の観測が始まったのは9月30日以降であり，それ以前に数回記録の不連続を生じたが，前後の変化の様子から外挿してつないである．

観測開始後まもなくの大きな歪の段違いは，8月2日16時27分に起きたえりも岬沖地震 (M=7.0) による Strain step である．震央距離が約100 kmであった．この時，E_{EF} 成分はスケールアウトしていたが，同日22時00分に起きた余震 (M=5.8) でも Strain step が観測されたので，両者の比較から推定してつないである．推定方法は，E_{AB} 成分と E_{CD} 成分の Strain step の比が2つの地震で同じであった事と，気象庁の観測による初動分布からは二つの地震が同様な発震機構であると推定できる事から，他成分に対する E_{EF} 成分の Strain step の比が2つの地震

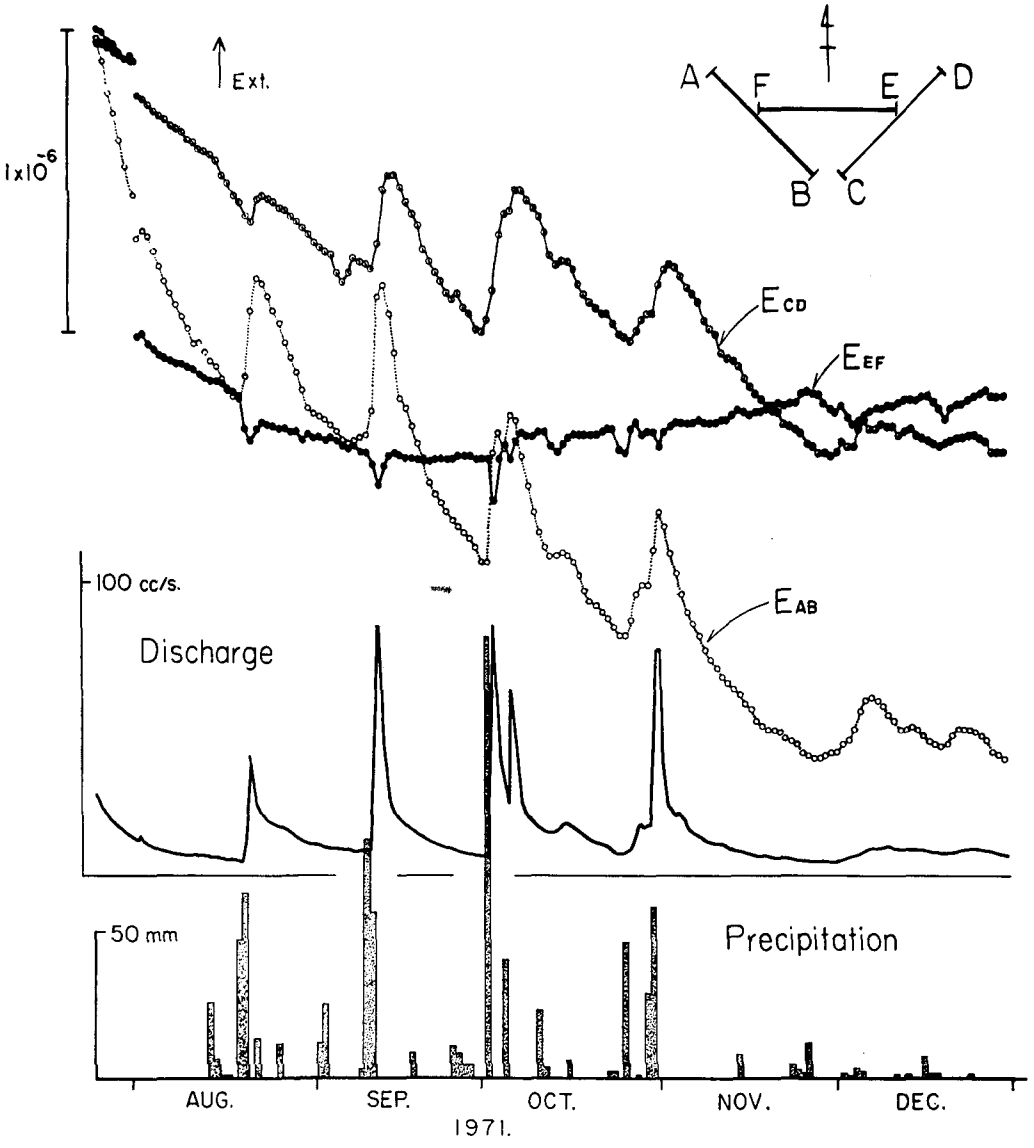

Fig. 5. Upper; daily variation in the 3 components of strain observed by the silica-tube extensometers.
Lower; water-discharge from the observation gallery and daily amount of precipitation.

に対して同じであるとして求めたものである. Fig. 6 に, 2つの地震に伴なう Strain step の記録例を示した. Table 2 に, その読み取り結果と推定値とを示してある. 本震と余震で符号が逆転しているのは, 浦河地震観測所(上杵臼)および浦河測候所の観測において本震・余震で初動方向が逆転しているのと対応している. 上記の地震を含めて, この半年余りの間に多数の Strain step が観測されているが, これについては別報で詳細に論ずる予定である.

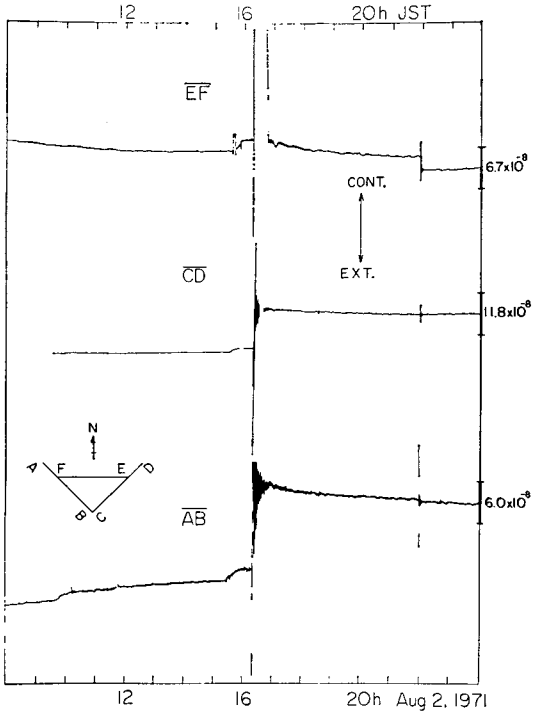

Fig. 6. Examples of the records of strain steps accompaning the earthquakes. Main shock; M=7.0, Aftershock; M=5.8

Table 2. Strain steps accompaning the earthquakes.

Component	Earthquake	
	Main shock Aug. 2, 16^h27^m, M=7.0	Aftershock Aug. 2, 22^h00^m, M=5.8
N 45° W (E_{AB})	-1.3×10^{-7}	$+3.1\times10^{-9}$
N 45° E (E_{CD})	-1.1×10^{-7}	$+2.6\times10^{-9}$
E-W (E_{EF})	(-9.1×10^{-7})	$+2.2\times10^{-8}$

さて，各成分の歪変化を全体的にながめて見ると，E_{AB} 成分，E_{CD} 成分の一方的な縮みが特徴的であるのがわかる．E_{EF} 成分は，9月中旬頃より伸びに変わってきている．E_{AB} 成分，E_{CD} 成分共に，11月頃までの変動量は極めて大きいといえる．そして共に時間に対して指数函数的に変化している．これは，岡田・渡辺 (1971) が，富士川地殻変動観測所において指摘しているように，トンネル掘さくやコンクリート収縮等の人為的影響によるものかも知れない．こうした傾向の上に短周期の変動が重なっているが，これはFig. 6の下方に示した坑内からの湧水量および日降雨量の変化と比べて見ると，湧水量とより密接に関係のあることがわかる．飯田・志知・松浦 (1969) によると，犬山地殻変動観測所における土地の伸縮は，降雨量よりも坑内湧水量の変化ときわめて高い相関を示すといわれている．そのことに留意して，我々は降雨量の

みならず坑内からの湧水量の測定も行なっているわけである．予想通り，土地の伸縮変化に対してえりもにおいても降雨量よりも坑内からの湧水量との関係の方が著しいことがわかった．このことは，12月の変化を見ればはっきりしている．降雨量の割に湧水量の増加が見られたのは，気温上昇に伴い凍結していた地下水が融解したためであろうと思われる．こうした坑内からの湧水量の変化に伴なう直線歪の変化は，E_{AB} 成分，E_{CD} 成分において最大 5×10^{-7} の伸び，E_{EF} 成分において最大 2×10^{-7} の縮みを示す．これは，我々が目的としている地殻変動観測にとってはノイズとなるのである．えりもでは，冬季は降雪となり，湧水量の著しい変化はなくなる．もうしばらくこのような変動を経験した後，適当なノイズ除去法を考察する予定である．

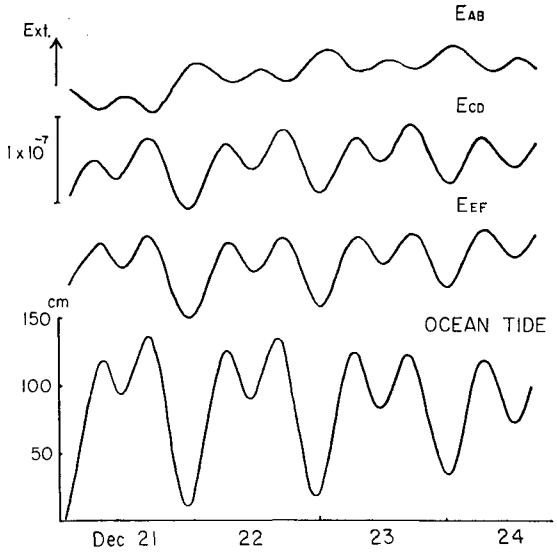

Fig. 7. Examples of the records of the silica-tube extensometers and ocean tides at the port of Syoya.

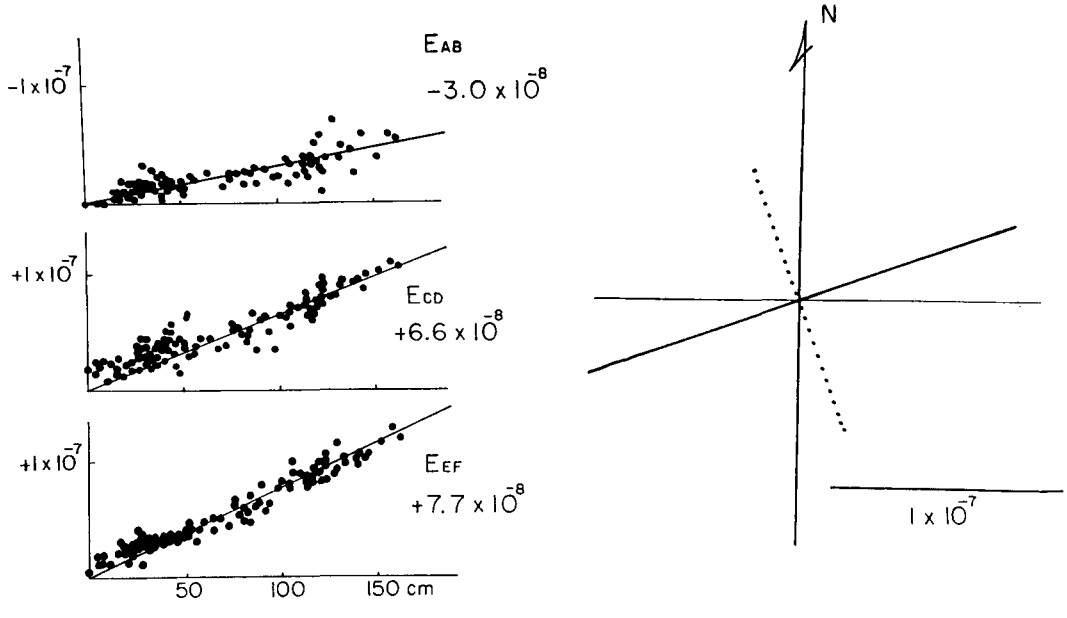

Fig. 8. Left; relation between changes in linear strain and those in sea level.
Right; principal strains and their axes affected by 1 m rise of sea level.

3. 海洋潮汐と土地の伸縮および傾斜変化

当観測所は，海岸から直線距離で約600 m の所にある．そのために，海洋潮汐に伴なう短周期変動が，伸縮計および傾斜計においてかなりの大きさで認められる．

Fig. 7 に，約4日間の伸縮計の記録例を示した．ここで，海洋潮汐としては当観測所の東北東約13 km の地点にある庶野(しょや)港（Fig. 2 参照）での検潮記録から2時間毎に読みとったものを示してある．伸縮記録は1時間毎に読み取った値を用いてある．E_{AB} 成分が他の成分とは逆位相の変化をしていることがわかる．振幅について見るために，歪変化の比較的小さい12月中について，海洋潮汐と伸縮変化の山・谷の振幅を読んで両者の関係を見たのがFig. 8 の左側の3つのグラフである．伸縮変化の方に湧水量変化に伴う変動を除去しないままの値を用いているために少々ばらつきがあるが，図中に直線で示したような関係があるといえよう．図に示してある数字は，1 m の潮位の上昇に伴なう歪量である．その値を用いて，等方弾性体の地殻を仮定し，平面内二次元歪として計算した，主歪値と方向をFig. 8 の右側に図示してある．実線が伸び，点線が縮みを示している．最大主歪の方位はS 70° W で，大きさは 1.88×10^{-7} である．この方向は海岸線の走向とほぼ直交するものである．

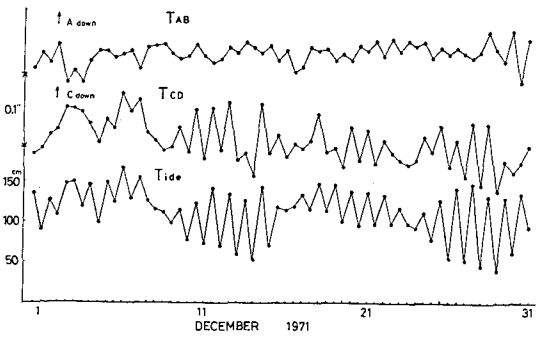

Fig. 9. Examples of the observed values by the water-tube tiltmeters and ocean tides at the port of Syoya.

Fig. 9 に，水管傾斜計の観測例を示した．水管傾斜計の読み取りが毎日10時と16時であるから，潮位としては，その時刻の庶野港の検潮記録より求めたものを示してある．T_{CD} 成分は潮位変化とよく似た変化をしているが，T_{AB} 成分は何とも言えない．振幅について見るために，読み取り時刻間の潮位差と傾斜量の関係を約7カ月分について求めたグラフがFig. 10 である．傾斜量は何ら補正し

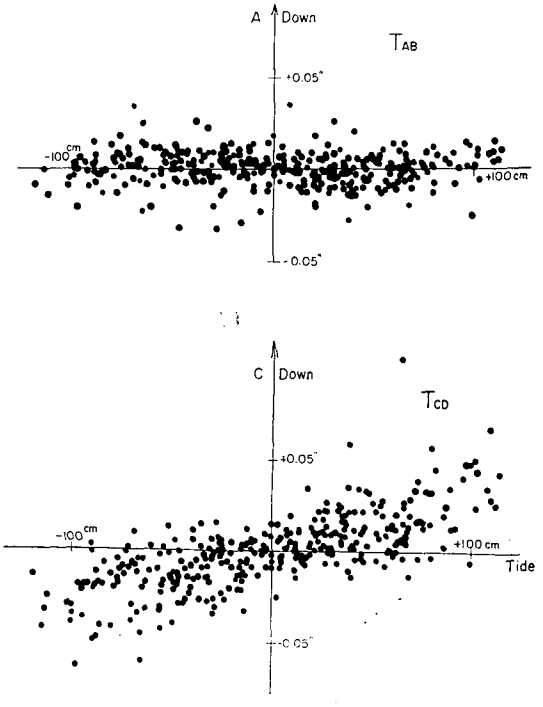

Fig. 10. Relation between changes in tilt and those in sea level.

ていない観測値から求めてあるので大変にバラついているが，T_{CD} 成分には明瞭な相関が認められる．これは，潮位 1 m の上昇に対して 0.04 秒角の C 下がり（すなわち南西下がり）であることを示している．T_{AB} 成分の方は，このグラフからは何とも言えないが，影響があるとしても T_{CD} 成分よりはるかに小さいことはいえる．これらのことから，観測点近傍では，潮位 1 m の上昇に対して，少なくとも 0.04 秒角以上 0.05 秒角を越えない範囲で南西象限方向に下がると結論できる．

海洋潮汐と土地の伸縮・傾斜の関係については，HAGIWARA *et al.* (1949) によると，三浦半島の油壺（海岸から 10 数 m の地点）では，潮位 1 m の上昇に伴い，海岸に直交する方向に 1.61×10^{-6} の伸び，0.51 秒角の下がりが現われる．我々の得た結果は，伸縮・傾斜変化共に油壺の約 1/10 の大きさである．これは主として，海岸からの距離或いは岩石の種類によるためであろう．

IV. 結　　語

観測開始後，約半年あまりの観測結果は次の様なものである．

1. 土地の傾斜は，観測開始後 2 カ月程は複雑に変動していたが，その後安定してきて 1971 年末からは北下りの傾向が見えてきた．これは今までこの周辺の水準測量の反復から見い出されている傾向と大体一致するものである．

2. 土地の伸縮は，約 5 カ月間で E_{AB} は 2.34×10^{-6}，E_{CD} は 1.34×10^{-6} という大きな一方的縮みが観測された．これは，通常の変動としては大きすぎ，恐らくトンネル掘さくやコンクリートの収縮という人為影響によるものと解される．

3. 上述の様な変動に重なって，坑内からの湧水量ときわめて高い相関のある変動が観測されることがわかった．これは，最大で E_{AB}，E_{CD} が 5×10^{-7} の伸び，E_{EF} で 2×10^{-7} の縮みである．

4. 観測坑が海岸に近いため，海洋潮汐に伴なう土地の傾斜・伸縮が顕著に記録される．海水 1 m の上昇に対して，土地の傾斜は南西象限方向に 0.04 秒角以上 0.05 秒角以内の下がりを示し，土地の伸縮は S 70° W に 1.88×10^{-7} の伸びを示すことがわかった．

終りに，本観測所の設置について深い御理解と御支援を賜った文部省・大学当局並びに幌泉郡えりも町の関係各位に感謝致します．本報告中の海洋潮汐のデータは，室蘭開発局庶野築港事務所の検潮儀記録によるものであり，当局の御厚意に対して感謝致します．また，観測計器の設計・据付けと共に有益な助言をしていただいた東大地震研究所山田重平氏に厚くお礼を申し上げます．

なお，計算の一部は北海道大学大型計算機センター FACOM 230-60 によった．

文　献

HAGIWARA, T., RIKITAKE, T., KASAHARA, K. and YAMADA, J. 1949. Observations of the deformation of the earth's surface at Aburatsubo, Miura peninsula. Part II. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 27, 35-38

飯田汲事・志知竜一・松浦　宏, 1969. 犬山における地殻変動の連続観測. 測地学会誌, 14, 144-155.

中井新二, 1966. 北海道日高地方の地殻変動についての一考察. 北海道大学地球物理学研究報告, 15, 49-57

岡田義光・渡辺　茂, 1971. 富士川における地殻変動連続観測. 昭和46年度地震学会秋季大会講演予稿集, 23

YOKOYAMA, I. and ARIMATSU, K., 1971. Resurveys of the precise levels in the Hidaka district, Hokkaido, after the Tokachi-oki earthquake of 1968. *General Report on the Tokachi-oki earthquake of 1968*, 215-224