

53. 光波測量による地殻変動の観測

第4報 既設基線網の再測

(昭和44年度)

地震研究所 { 笠原慶一
岡田惇
柴野睦郎
佐々木幸一
松本滋夫
平田安広

(昭和44年10月28日, 昭和45年5月26日発表—昭和45年7月25日受理)

目次

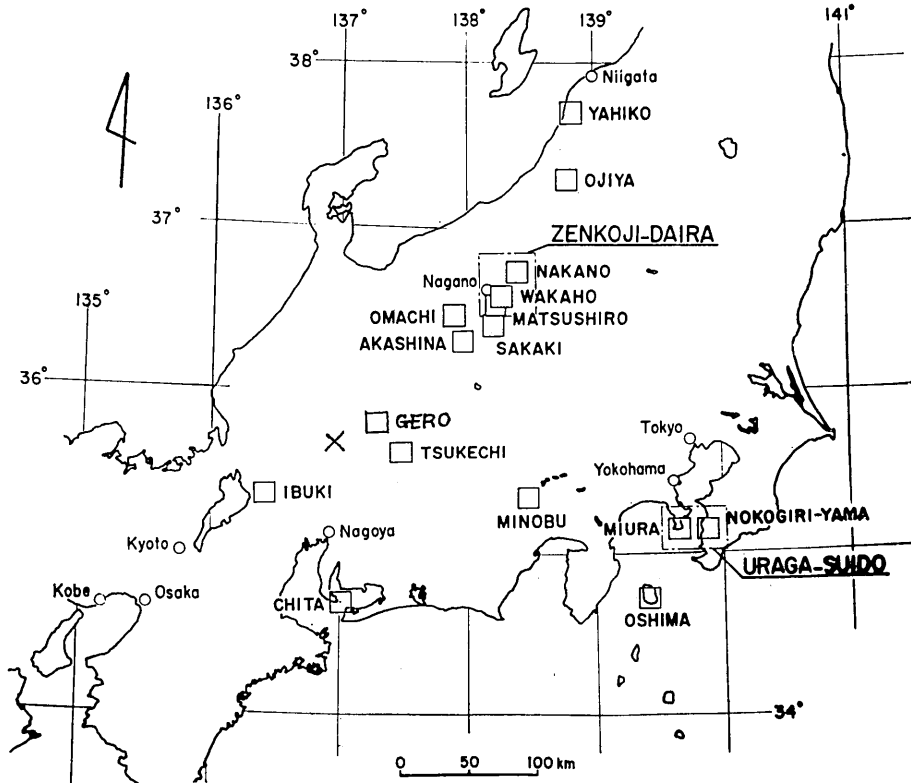
1. まえがき
 2. 昭和44年度(1969)における基線網再測結果
 - (1) 付知および下呂(新設)基線網
 - (2) 知多基線網
 - (3) 善光寺平基線網
 - (4) 伊吹基線網
 - (5) 浦賀水道基線網
 - (6) 鋸山基線網
 3. あとがき
- 謝 辞

1. ま え が き

光波測量によって、基線の辺長測量を繰り返し行ない、その反復結果から地殻の水平変動を見出そうとする試みが続けられている。筆者らが1963年以来関東・中部地域において設置・実行して来た観測基線網、観測方式、およびその結果に関してはほぼ年度ごとに報告して来た。^{1,2,3,4)} 1965年から始まった松代群発地震は、この期間中の最も顕著なできごとであって、光波測量がその調査に役立ったことは既に報告したところである。^{5,6,7,8)} これら既刊報告の後をうけて、本報告は昭和44年度(1969)の観測作業とその結果の概要を述べるものであるが、この間筆者らは昭和44年9月9日に発生した岐阜県中部の地震の調査にも参加したので、その作業についても概略を述べる(詳細については別報⁹⁾参照)。

もうひとつの特筆事項は中型(10~15km程度)の測量がジオジメーター8型(レーザー

使用) によって、極めて能率的に測量できるようになったことである。その例として蒲賀水道における測量結果の概要についても述べる。第1図は昭和44年度再測あるいは新設が行なわれた基線網の配置を示すものである。



第1図 関東・中部地域光波測量基線配置
(×印は昭和44年9月9日岐阜県中部地震々央を示す)

2. 昭和44年度(1969)における基線網再測結果

1969年度(昭和44年)の再測量作業やその諸元は第1表に示す通りである。

第1表 観測諸元一覧

基線名	観測月日	使用ジオジメーター	反射鏡	天候	備考
付知	1969. 9.12 10.19	6型, 水銀灯 ", "	9素子 "	晴 "	昼間 10h~15h 視界良好 薄暮 16h~20h "
下呂	1969. 9.14 10.18	6型, 水銀灯 ", "	9素子 "	曇, 小雨 曇	夜間 19h~24h 視界やや良好 " 18h~21h "
知多	1969.10.16	6型, 水銀灯	9素子	霧後晴	薄暮 15h~19h 視界やや良好
善光寺平(中型)	1969.11. 15~18	6型, 水銀灯	23および 25素子	小雨後曇	各測線共 18h~24h 視界やや 良好 両測点において同時気象観測

(つづく)

(つゞき)

伊 吹	1969.12. 11~12	6 型, 水銀灯	9 素子	曇天, 霧	視界悪く昼夜観測
浦 賀 (中型)	1970.2. 3~4	8 型, レーザー光	23 および 25 素子	曇, 強風	視界やや悪く昼夜観測 両測点において同時気象観測
鋸 山	1970. 2.27	6 型, 水銀灯	7 素子	曇, 霧	昼間 11h~16h 視界やや良好

TSUKECHI.

第 2 表 昭和 44 年度観測結果一覧

	TOYAWAKI	HIRONO	GAKJEN
1966. 3.24-25	1725.694 ±4 ^{mm} 0 ^{mm}	3016.017 ±2 ^{mm} 0 ^{mm}	3227.762 ±2 ^{mm} 0 ^{mm}
1967. 11. 10	.713 ±1 +19	.013 ±1 -4	.766 ±2 +4
1969. 9. 12	.708 ±1 +14	.042 ±1 +25	.778 ±1 +16
1969. 10. 19	.716 ±1 +22	.046 ±1 +29	.772 ±1 +10

GERO.

	NORIMASA	TAKEHARA	BUTAITOGE
1969. 9. 14	2520.663 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}	3635.321 ±0 ^{mm} 0 ^{mm}	3201.110 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}
1969. 10. 18	.660 ±1 -3	.320 ±1 -1	.112 ±1 +2

CHITA.

	SAKUSHIMA	OI	SHINOSHIMA
1965. 3.21-23	3754.267 ±7 ^{mm} 0 ^{mm}	3647.162 ±6 ^{mm} 0 ^{mm}	2960.950 ±0 ^{mm} 0 ^{mm}
1966. 3.26-27	.279 ±3 +12	.198 ±7 +36	.949 ±0 -1
1967. 11. 16	.302 ±1 +35	.195 ±2 +33	.936 ±2 -14
1969. 10. 16	.304 ±1 +37	.207 ±1 +45	.967 ±1 +17

ZENKOJI-DAIRA.

	TOYONO - 2	TOYONO - 1	MATSUSHIRO - 2	MATSUSHIRO - 1	WAKAHO
1968. 11.20-24	5719.392 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}	12068.459 ±3 ^{mm} 0 ^{mm}	9702.112 ±2 ^{mm} 0 ^{mm}	13870.092 ±2 ^{mm} 0 ^{mm}	8934.757 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}
1969. 11.16-18	.390 ±1 -2	.431 ±1 -28	.078 ±1 -34	.096 ±1 +4	.710 ±1 -47

IBUKI.

	IBUKI-D.W	IBUKISAN	YURI
1963. 11.11-13		3781.538 ±5 ^{mm} 0 ^{mm}	3697.518 ±3 ^{mm} 0 ^{mm}
1965. 3.17-18	3848.488 ±11 ^{mm} 0 ^{mm}	.557 ±4 +19	.536 ±3 +18
1967. 11. 14	.495 ±1 +7	.537 ±2 -1	.524 ±3 +6
1969. 12.11-12	.527 ±2 +39	.554 ±2 +16	.523 ±2 +5

URAGA-SUIDO.

	K - N	M - N	M - K
1970. 2. 3-4	13191.856 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}	13667.824 ±2 ^{mm} 0 ^{mm}	13282.933 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}

NOKOGIRIYAMA.

	OSAWA	TARUYAMA	SHIKAYINE
1964. 8. 4-5	3918.253 ±9 ^{mm} 0 ^{mm}		2985.382 ±4 ^{mm} 0 ^{mm}
1968. 1. 30	.229 ±1 -24	2292.448 ±1 ^{mm} 0 ^{mm}	.397 ±1 +15
1970. 2. 27	.250 ±2 -3	.462 ±1 +14	.411 ±1 +29

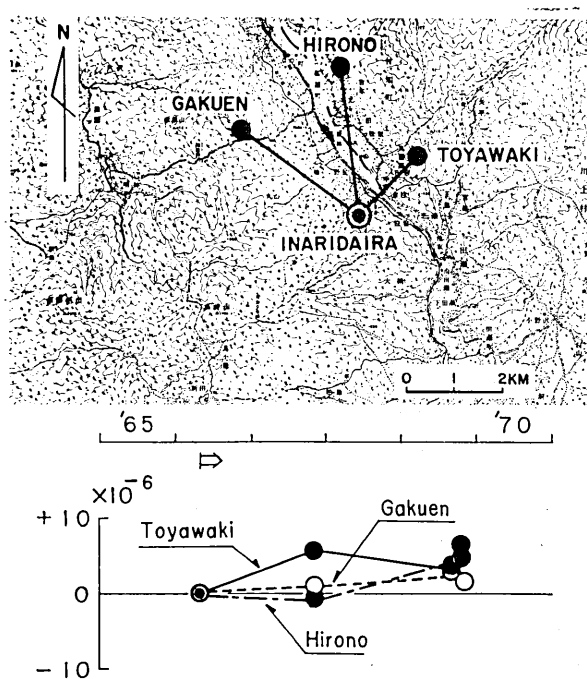
第2表には、これら1969年度における結果を旧観測値と比較し、さらに歪量変化等に換算したものを一括表示してある。

つぎに、これら測量結果について個別の説明を加えよう。

(1) 付知および下呂(新設)基線網

付知において光波測量が開始されたのは比較的初期のことであって、ネオテクトニクス研究の見地から注目されている阿寺断層¹⁰⁾の平素の運動状況を監視するのがそのねらいであった。たまたま昨年9月9日(昭和44年)にその近傍で岐阜県中部地震が発生したのを契機にその改測を繰り返すことになった。さらに観測体制を強化するため、阿寺断層の延長である下呂附近にはもうひとつの基線網が新設された。

付知基線網については、1968年までにすでに3回の測定が繰り返されている。ただし第3回測量(1968年10月)当時は、ジオジメーター6型に無視できない程度の周波数偏差を生じていたことが後で判明した。いちおうその補正は行ったのであるが、果して十分に補正し得たか否かなお疑問の残るところであって、以下の議論にはこれを使用しないことにする。

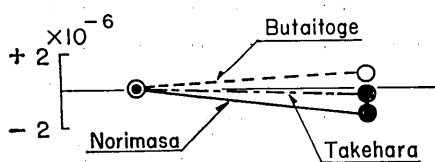
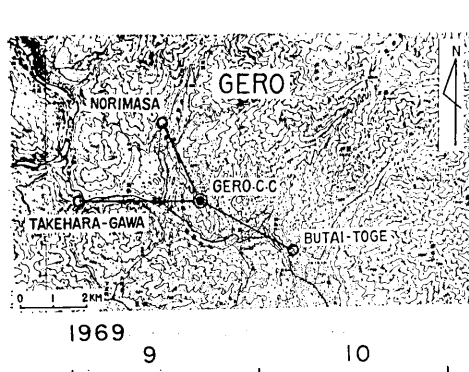


第2図 付知基線網と歪量変化

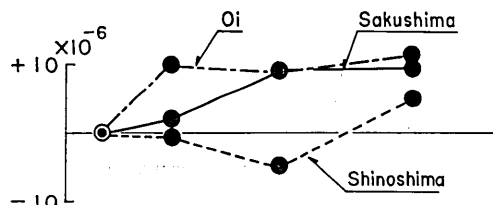
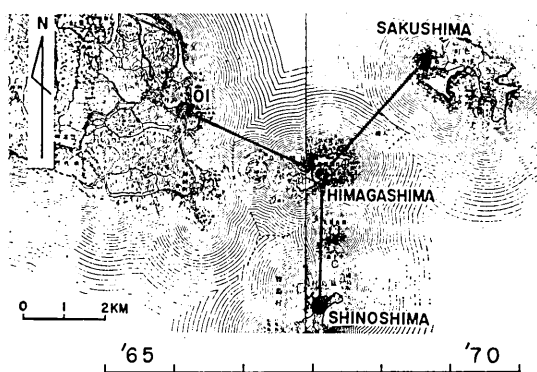
第2図は、付知基線網と各基線長の変化量を、直線歪に換算して示した。1968年10月の観測値は上記の理由により除外してある。ひとくちにいって歪量変化は 10×10^{-6} の程度で、特に系統的な傾向は認められない。また9月9日の岐阜県中部地震(第1図参照)に

関係すると思われる変化も明瞭でない。これは一見意外な感じを受けるが、活断層の力学を考える上にはひとつの興味深い問題である。

第3図は下呂基線網であって、付知基線網の北西方向約20kmの地域、阿寺断層の延長に沿う地点に地震直後新設された。ここでは9月、10月と2回測量が行われたので、それが比較されているが、地震後の約1ヶ月間における変化と思われるものはほとんどない。



第3図 下呂基線網と歪量変化



第4図 知多基線網と歪量変化

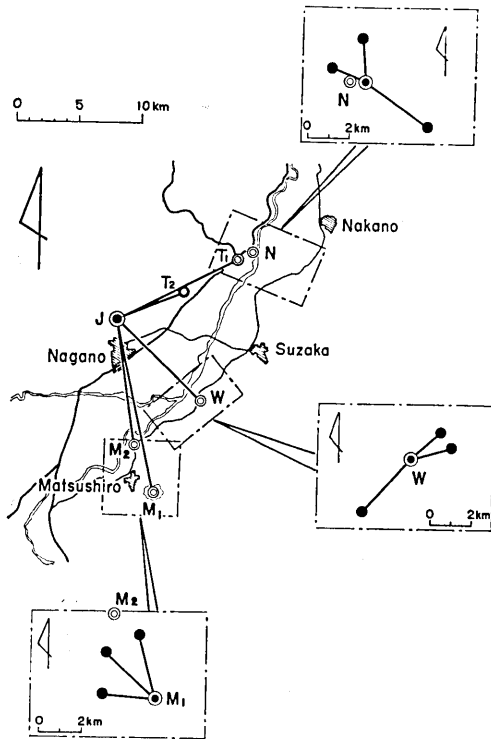
(2) 知多基線網

知多基線網の測量は、10月14日より16日に行われた。1968年10月における本基線網の観測値にも付知と同種の心配が含まれているので、この時期の資料は除外してある。

1965年3月を基準とした直線歪量の変化は、第4図に示す通りである。歪量は 10^{-5} 程度で微量ではあるが、佐久島測線は伸びの傾向を示しているのに対し、篠島測線は縮みより伸びに転じた。今後の観測結果を注目したい。

(3) 善光寺平基線網

ジオジメーター4型あるいは6型による基線長は、従来3~5kmを対象にしてきた。既に報告したように、その後水銀ランプの使用あるいはジオジメーター8型に見られるようレーザー光線の導入によって、測量可能な基線長は大巾に増大されるようになった。もっとも地学的見地からすれば局地的な変動に迷わされないためにも10~15kmのスケールで大局的な地殻変動をとらえることが望まれていた。善光寺平に中型基線網を設置した背景もこのようなものである。前報でも述べた通り、この基線網は、第5図に示すように観測基点を長野市北方地付山に置き、反射点はそれぞれ松代群発地震にもなって繰り返



第 5 図 善光寺平中型基線網図

ことを暗示するようである。中村・恒石¹³⁾のクリープメーター観測によれば終末期に入ってから松代地震断層は南北方向に収縮しつつも、左横ずれ運動は若干進行しているものと説明されているから、今回の観測結果はあるいはこれに対応するのかも知れない。いずれにせよ近い将来松代小基線網の再測によってこのことを確かめる必要がある。

特にジオジメーター 6 型 (水銀ランプ使用) ではそうであってかなり気象条件の微小変化に悩まされることが多い。しかし将来は 8 型レーザージオジメーターによって、より安定かつ能率的に行われるであろう。

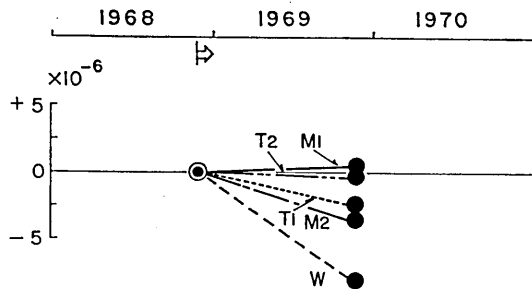
(4) 伊吹基線網

伊吹基線は、設置が昭和 38 年 (1963) で昭和 44 年 12 月 (1969) は第 4 回目の観測である。観測結果は第 2 表に、基線網図と基線長の変化は第 7 図に直線歪量の時間的変化とし

し観測が行われた松代、若穂、中野各基線網に関係づけられるようになって

いる。
実施可能とはなったが、10km 以上の中型基線では、気象条件にきびしく支配され、観測時期の選定や観測技術にも細心の考慮を必要とする点が少なくない。

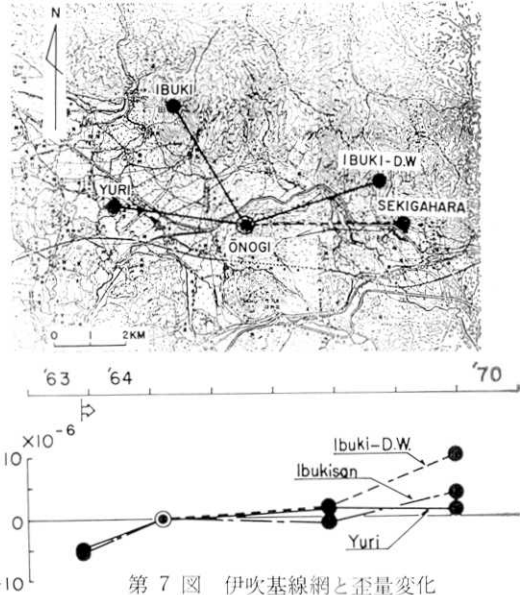
第 1 回は昭和 43 年 11 月で、昭和 44 年 11 月に第 2 回目の測量を行った。1 年間の比較は、第 6 図に示す通りである。ただし T-1 は第 1 回目の観測時の気象条件が悪く、観測回数が 2 回の平均であるためやや信頼度が低い。東南方向若穂測線 W は、同様に 47 mm の縮みを示した。また南方測線金居山 M-2、皆神山 M-1 は、それぞれ -34 mm, +4 mm であるから、金居山-皆神山の距離は松代地震断層をはさみつつ約 40 mm 増大したことになる。これは定性的には同断層の左横ずれ運動が微量ながらもさらに進行している



第 6 図 善光寺平中型基線網歪量変化

て示した。

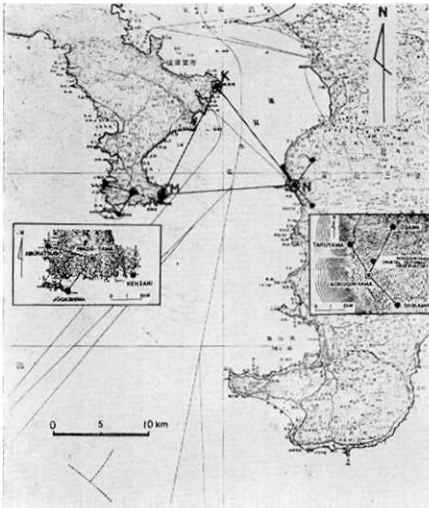
当地域は構造地質学的に見れば、柳ヶ瀬断層¹²⁾の末端部に当り、地震学的にも姉川地震¹³⁾を始め伊吹山周辺部に散発的にマグニチュード4~5の地震が発生する地域でもある。たまたま、さる5月21日にこの地方としては強い部類に属する地震があった ($M=6.6$, $\varphi=35.4^{\circ}N$, $\lambda=136.5^{\circ}E$)¹⁴⁾。気象庁発表の震央は当基線網より約10km南東寄りに求められており、仮りに地殻変動が起きたとしても当基線網に反映するほどのものか否か予断はできない。ただ伊吹ドライブウエー測線の1967年11月以降の動きはそれ以前、およびその他の測線のものに比べてやや注目を惹く。近く同地において再測を行ない、上記地震の影響の有無を確認する予定である。



第7図 伊吹基線網と歪量変化

(5) 浦賀水道基線網

当基線網の第1回観測は昭和45年2月3日に行なわれた。(第2表参照) 南関東地域における中型基線網の設定が計画されたのはかなり古く、すでに昭和43年度には第8図に示す通り、東京湾口浦賀水道をはさむほぼ正三角形の基線網が開設されていた。しかし第3報で報告したように、昭和43年5月以来数回にわたりジオジメーター6型による予備的な試験観測を試みたのであるが、この地方の気象状態は著しく悪く完全な測定結果が得られなかった。幸いにも、その後地震研究所の火山物理研究部門にジオジメーター8型(レーザー光使用)が購入されたので、今回はこれによって測量を試みた次第である。



第8図 浦賀水道基線網図

第8図に見るように、当基線網は房総半島側は鋸山小基線の観測基点を共用し、三浦半島側は剣崎附近間口と観音崎の2点でほぼ正三角をなす。従来の三浦小基線とは間口付近で関連させている。反射鏡には25素子を用いたが10km以上離れているにもかかわらず

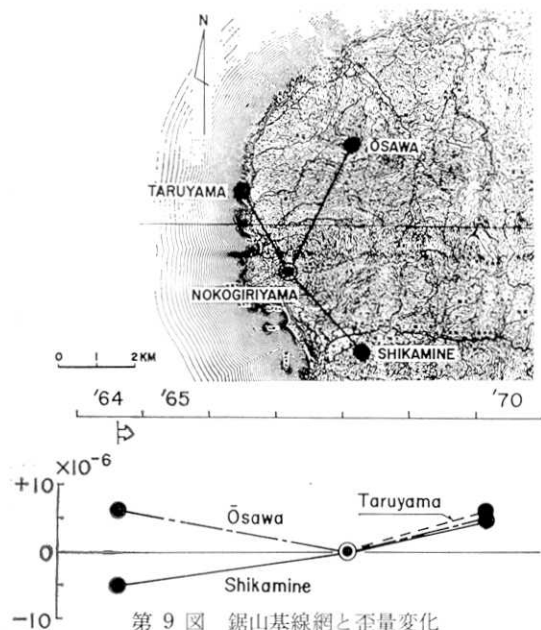
ず反射鏡の位置探索は比較的容易であり、視界やや不良であったが受光感度も充分得られることが体験された。南関東の異常地殻変動に関心が寄せられている今日、重要な位置を占める当基線網に対して今後ひんばんな測定の行なわれることを期待したい。

(6) 鋸山基線網

浦賀水道中型基線網の観測に引続き、2月末鋸山基線網の再測量を実施した。観測は昭和39年(1964)に第1回が開始されたが、反射点の標識(金属標)の亡失等で、3測線の比較は昭和43年(1968)以後である。鹿峰測線のみ当初より比較することができた。

大沢反射点の標識はステンレス基準標のみ亡失、地表のコンクリートはそのまま残されていたので、再測はほぼ同じ位置に再度ステンレス基準標を設置し、参考値として比較を行った。各測線毎の基線長の変化は第2表に示されている。

また基線長変化より直線歪量を出し、昭和43年(1968)2月を基準とした変動図は第9図に示す通りである。完全な比較ができた鹿峰測線は伸びの傾向が認められる。大沢測線は当初相当量の短縮が見られたのであるが、その傾向は逆転し、昭和43年~45年間ではむしろ伸びを示している点が注目される。



3. あとがき

昭和44年度(1969)の光波測量実施の概要と結果について述べた。この期間には昭和44年9月9日岐阜県中部地震(M=6.6)地域での作業、あるいは地震予知連絡会において特別観測強化地域として指定された南関東地域の作業も含まれている。装備上の改善としてはジオジメーター8型を使用することができ、6型と併用して、さらに能率的な観測態勢を整えられるようになった。その反面光波測量の資料が集積されるにつれて、新たな問題にも直面するようになって来た。特に測定された変化量の有意性は計測技術的にも又地学的にも検討すべき点が多い。その解釈には今後さらに長期間を必要とするであろう。

謝 辞

光波測量の実施に関しては、終始ネオテクトニクス研究会（代表者 森本良平教授）の方々の御協力をいただいた。

また一部の観測は地震予知研究計画にもとづく、移動観測班（坪川家恒教授）の一環として進められている。8型レーザージオシメーターが使用できたのは、地震研究所火山研究部門（下鶴大輔教授）の御好意による。

現地観測に当っては、下記の地震研究所附属の各観測所の方々、およびその他関係各方面の御協力を得た。

ここに記して謝意を表する。

地震研究所附属観測所

北信微小地震地殻変動観測所

鋸山地殻変動観測所

油壺地殻変動観測所

岐阜県付知町役場

岐阜県下呂町下呂カントリークラブ

岐阜県下呂町中部電力竹原川発電所

愛知県南知多町日間賀支所

長野市開発公社

長野国際観光株式会社

電電公社大野木無線中継所

文 献

- 1) 笠原慶一・岡田 惇, 1966, 光波測量による地殻変動の観測, 第1報 中部日本における基線網設定, 地震研究所彙報 44, 1149-1165.
- 2) 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・平井正代, 1968, 光波測量による地殻変動の観測, 第2報 関東・中部地方における基線網の増設と観測結果 (昭和41・42年度), 地震研究所彙報 46, 741-758.
- 3) 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・平井正代, 1969, 光波測量による地殻変動の観測 第3報 既設基線網の再測ならびに中型基線網の設定 (昭和43年度) 地震研究所彙報 47, 803-818.
- 4) 岡田 惇・柴野睦郎・笠原慶一, 1969, 光波測量による地殻変動の観測, 測地学会誌 14, 72-85.
- 5) KASAHARA, K. and A. OKADA, 1966, Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (1), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 335-350.
- 6) KASAHARA, K., A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI and S. MATSUMOTO, 1966, Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (2), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 1715-1733.
- 7) KASAHARA, K., A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI and S. MATSUMOTO, 1967, Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (3), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, 225-239.

- 8) KASAHARA, K., A. OKADA, M. SHIBANO, K. SASAKI, S. MATSUMOTO and M. HIRAI, 1968, Electro-Optical Measurement of Horizontal Strains Accumulating in the Swarm Earthquake Area (4), *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **46**, 651-661.
- 9) 笠原慶一・岡田 惇・柴野睦郎・佐々木幸一・松本滋夫・安藤雅孝, 1970, 阿寺断層地域における光波測量一岐阜県中部地震に関連して一, 地震研究所彙報 **48**, (in press).
- 10) SUGIMURA, A. and T. MATSUDA, 1965, Atera Faults and Its Displacement Vectors, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **76**, 509-522.
- 11) TSUNEISHI, Y. and K. NAKAMURA, 1970, Faulting Associated with the Matsushiro Swarm Earthquake, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **48**, 29-51.
- 12) 杉村 新, 1963, 柳ヶ瀬断層, 第四紀研究 **2**(6), 220-231.
- 13) IMAMURA, A., 1928, On the Topographical Changes preceding and following the Anegawa Earthquake of 1909, *Proc. Imp. Acad.*, **4**, 371-373.
- 14) 気象庁観測部地震課, 1970, 1970年5月地震火山概況.

53. Observation of Horizontal Strain Accumulation by Electro-Optical Means.

4. Resurveys of Base-line Network for the Period May, 1969—April, 1970.

By Keichi KASAHARA, Atusi OKADA, Mutsuro SHIBANO,
Koichi SASAKI, Shigeo MATSUMOTO and
Yasuhiro HIRATA,
Earthquake Research Institute.

This paper deals with the writers' Geodimeter surveys which has been conducted in central Honshu, Japan in the period May, 1969—April, 1970. Generally speaking, they have observed no large strains on any base-lines, which would exceed the observational errors significantly.

One of the remarkable seismic events in the present period was the Gifu earthquake of September 9, 1969, which occurred in an area adjacent to the Atera fault. For the purpose of discovering the fault's movements associated with the present earthquake, the writers repeated surveys on the Tsukechi and Gero base-line network, the latter of which was newly constructed after the earthquake. It was concluded, however, that no effective offset appeared on the Atera fault at the time of the earthquake, in spite of its adjacency to the epicenter and of its tectonic potentiality as inferred from geologic points of view.

The local earthquake of May 21, 1970, which occurred adjacently to the Ibuki network is also interesting. The preseismic resurvey has discovered a slight but obvious extension of the Ibukiyama Driveway base-line for about 30mm since Nov. 14, 1967. It would be too early for us to conclude whether this particular effect is seismically significant or not; further field work is necessary to answer this question.

The introduction of the Geodimeter Model 8, equipped with a laser light source, has enabled the writers to survey quite a long base-line fairly easily. Thus the Uruga-Suido network of intermediate base-lines (10~15 km) has been constructed and surveyed successfully. Further repetitions of surveys are needed in connection with the emergent expeditions to the Southern Kanto District, where the risk of an approaching earthquake is worried about.