

# 千葉県九十九里低地の地盤環境

近 藤 精 造

## はじめに

昭和62年12月17日の千葉県東方沖地震の際に、震源に近い九十九里低地において、大きな被害をだしている。しかし、この地震災害の状況は、必ずしも震央距離と正確には対応していない。千葉県がまとめた昭和62年千葉県東方沖地震－災害記録－（1989.3）の中でも、アンケート調査による地震時の揺れの状況（河角の震度階）、屋根瓦被害率分布図、液状化現象発生状況などに明らかにされている。

このような被害の程度の違いは、九十九里低地においては、表層にみられる沖積層は共通でありながら、その基底の地質構造に関係すると推定できる。楡井（1988）は日本地質学会関東支部のシンポジウム「千葉県東方沖地震」における、「地震時における地盤震動の地域的特異性」で触れている。ここでは、国土地理院および千葉県の行った水準測量結果を基に、地盤を構成する地質構造の違いにつき考察したい。

なお、本論文作成にあたって資料提供、有益な御示唆をいただいた千葉県水質保全研究所地盤環境研究室長楡井久氏に謝意を表します。

## 1. 関東地震前後の地盤変動

1923年の関東地震に際し、房総南端で1500mm以上の著しい隆起が認められており、その後1930年の間で60mmの後戻りの変動をしたことが知ら

れている。宮部（1952）は測量結果を基に、1898－1930年の変動を記載した。近藤（1973）はこれを引用し地震動を主とした自然的な地盤変動の地域的な特徴を考えた。第1図のAは九十九里地域におけるこの間の変動を、宮部（1952）が示した数値を基に図にしたものである。この地域において、北部の水準点番号3938地点付近までは50mm以下で3937付近から3927付近までは次第に増大し150mmとなり、3928以南は150～180mmの隆起を示している。この数値は約30年間の変動を表しているので、北部地域にみられる程度の隆起は平常時の変動と同じで、それから南側では房総南端の顕著な隆起帯に引きずられた変動と推定される。

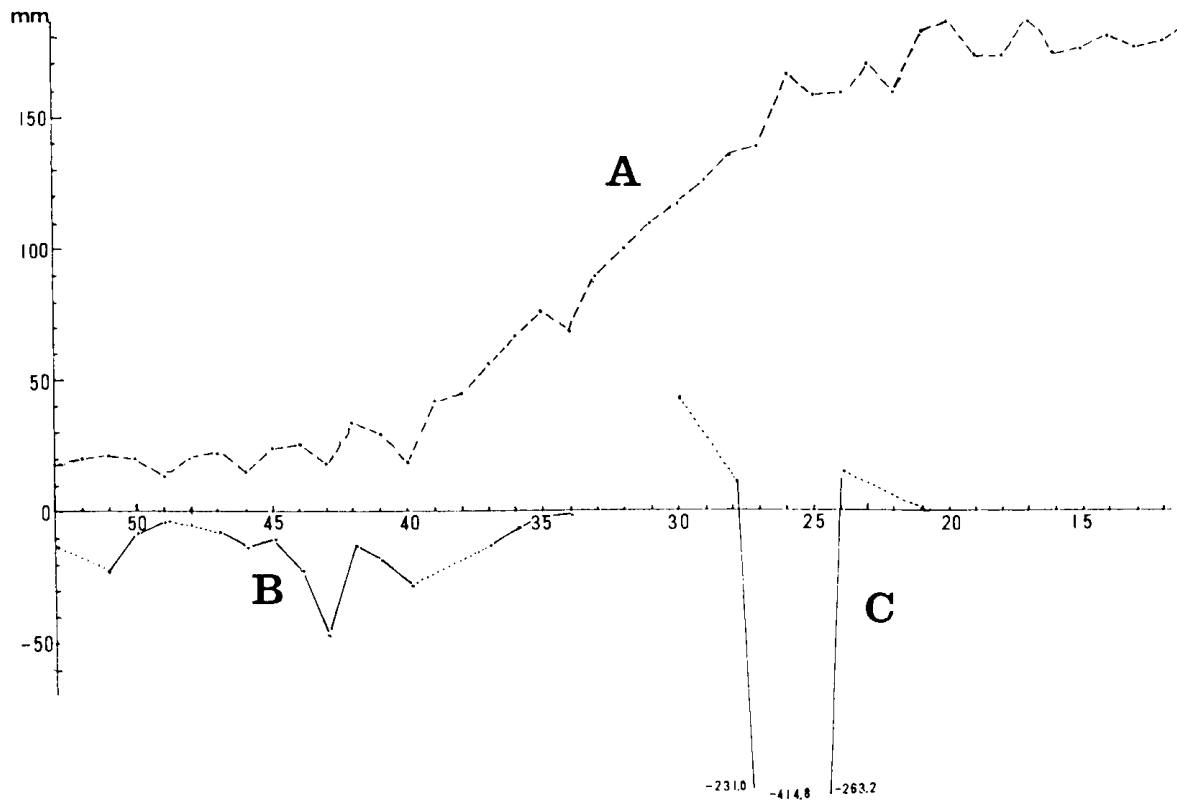
楡井（1988）は千葉県東方沖地震の調査に関連し、地盤運動について活地塊毎の変動があり、その境界を示し、関東地震前後における垂直変動にもその傾向の認められることを推定した。楡井（1988）が指摘した活地塊境界、水準点番号3943－3942、3940－3939、3935－3934、3931－3930、3927－3926、3922－3921、3918－3917、3914－3913はいずれも隆起の値を示すが、変動の差異が明瞭であり、地塊毎の変動を裏付けている。

## 2. 1930年以後の水準測量結果と九十九里ガス田の開発

九十九里ガス田の本格的な開発は1931年、大多喜地区において始まり、1935年茂原地区、1940年白子町、1941年夷隅町での開発と続き、1950年長生村七井土、1951年八積鉱山、1953年一宮大洋鉱山の開発が行われた。ガス産出量は1945年12月に15万 $\text{m}^3$ /月であったが、1948年で平均日産ガス量1.4万 $\text{m}^3$ 、1955年8.5万 $\text{m}^3$ 、1958年20.5万 $\text{m}^3$ 、1960年46.6万 $\text{m}^3$ と増大している。

一方、九十九里地域における水準測量は、関東地震に関連し1930年に実施されて以後、北部において1953年に実施されているが、上記天然ガス開発地域は含まれていない。九十九里北部への本格的ガス田開発は1960年代

第1図 水準点における標高の変動



A : 1898～1930年 B : 1924年8～9月～1953年2月 C : 1930年2～3月～1964年2～3月  
縦軸は変動量をmm単位、横軸は水準点を示し、番号の上2けた39を省略し、下2けたを表している。

に入ってであって、地盤への影響はないと推定される。

第1図Bにこのときの測量結果を示した。基準点土浦市の水準点番号4033を0としていずれも沈下になっているが、千葉市付近の地点に比べれば、いずれもプラス0～20mmの値となっており、20数年間の変動を記録している。活地塊境界の水準点番号3943～3942境界における変動の差は顕著であり、3940～3939境界の変動差は3939、3938水準点の測量値がないが、3940地点の沈下状況から変動差を推定できる。

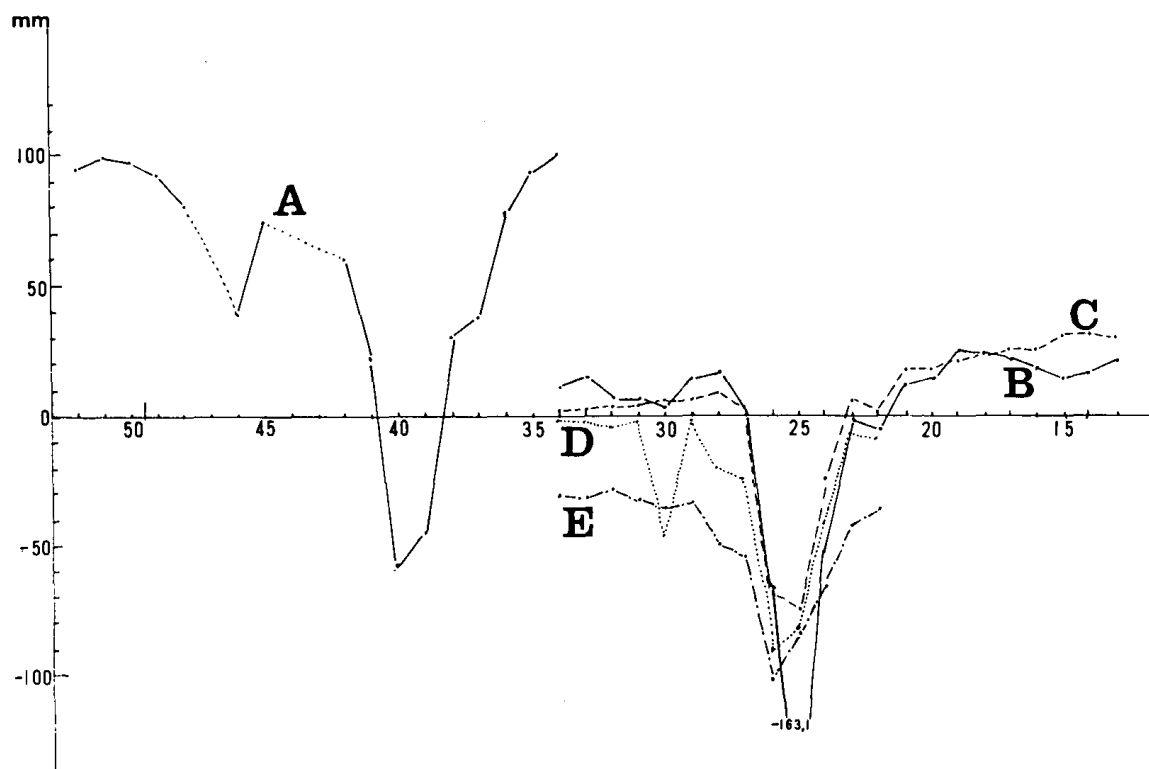
これに対し、水準点番号3930地点以南は1930年以後、1964年2～3月に部分的に初めて測量され、その結果を第1図Cに示した。これは水準点番号3921(一宮)を基点0とした測量であるが、水準点番号3927、3926、3925

の3地点だけが、けた外れの沈下を示している。天然ガスかん水の日排水量が1958年2.6万 $\text{m}^3$ であったのが、1960年に6.2万 $\text{m}^3$ 、1962年に8.7万 $\text{m}^3$ 、1964年に9.8万 $\text{m}^3$ と増えている。したがって、この沈下が長生村七井土を中心にした天然ガス生産の増大に伴って生じた地盤沈下と考えられる。

### 3. 1965～1969年の水準測量結果と九十九里ガス田開発の進展

九十九里ガス田開発は1968年には稼働井は745に達し、この10年間に約倍になった。開発地域は茂原市の東部、南西部および大網白里町、白子町、長生村、一宮町の海岸部、さらに九十九里北部、岬町、夷隅町と拡大

第2図 水準点における標高の変動



A : 1952年2～3月～1968年1～3月 B : 1965年10～11月～1968年1～2月 C : 1968年1～2月～1969年1～3月  
D : 1969年2月～1970年2月 E : 1970年2月～1971年2月

がみられた。これに伴うガス生産は平均日産で、1965年63万 $\text{m}^3$ 、1967年78万 $\text{m}^3$ 、1969年92.3万 $\text{m}^3$ と著しく増大した。

この間九十九里地域において、1965、1968、1969年に九十九里南部（大網白里町以南）、1968年に九十九里北部（大網白里町以北）の水準測量が実施されている。

天然ガス生産に伴うかん水揚水量が増大し、1965年10.3万 $\text{m}^3$ 、1967年12.8万 $\text{m}^3$ 、1969年15.2万 $\text{m}^3$ となり、天然ガス開発地域の地盤沈下も目だってきた。

この間の測量結果を第2図に示し、Aは1968年、Bは1968年、Cは1969年初めを測量の基準日としている。Aでは1953年からの変動値で、土浦市の水準点番号4033を基準点0としており、13年間の変動となる。1963年の測量に比べ、水準点番号3934地点以北、九十九里北部全般に隆起の数値がでている。この中で、水準点番号3940および3939の両地点で沈降傾向がみられる。北部地域にも開発が進みだした天然ガス採取との関連もあって、自然的変動は不明瞭である。

Bでは約2年3か月の間の変動量であり、水準点番号10693（土気町）を基点とした測量で、1965年に比べ、水準点番号3922～3926の5地点だけで沈下がみられ、特に3925地点で163.1mmの沈下を記録した。Cは約1年間の変動量を示しており、水準点番号3837を基準点0としている。この場合も3924、3925、3926の3地点だけが沈下をし、長生村七井土を中心とした沈下が顕著に認められており、天然ガス採取の影響を明確にあらわしている。

#### 4. 1969～1973年の水準測量結果と九十九里ガス田開発地域の拡大

1969年以降は千葉県における水準測量結果が毎年公表され、地盤の変動状況が細かくわかるようになった。また、国の水準点のほかに水準点が

年々増設され、地域毎の詳細の変動状況が把握できるようになった。この測量は霞が関の日本水準原点と千葉県に設置されている固定水準点を基準として行われている。

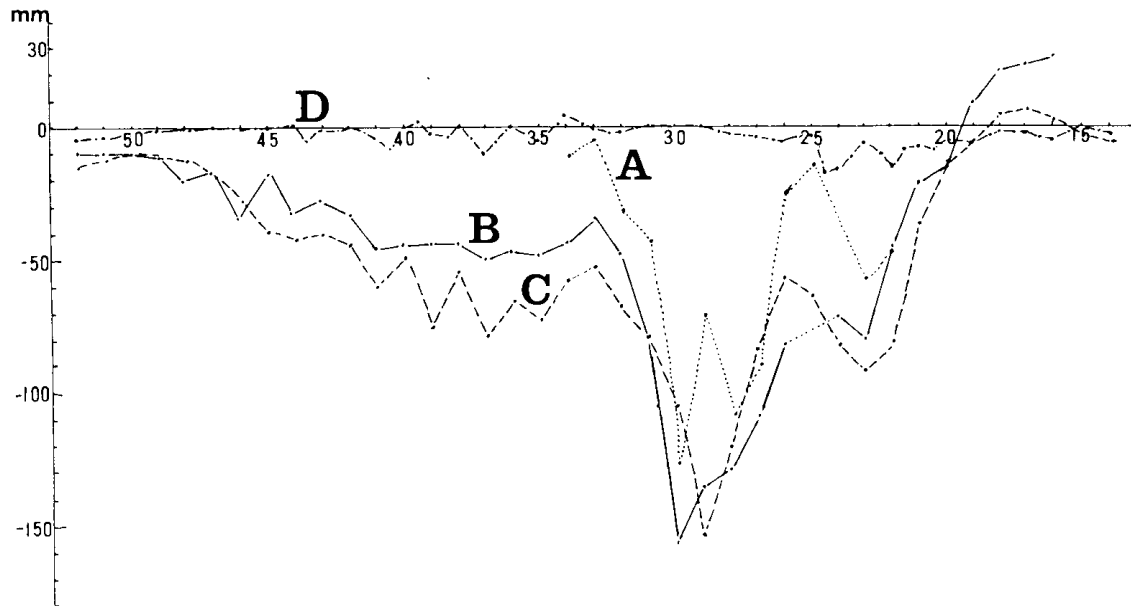
これに対し、この間の天然ガス開発は最も盛んで、九十九里地域においても天然ガス生産は日産1970年に116.2万 $\text{m}^3$ 、1972年に122.7万 $\text{m}^3$ 、1973年に121.1万 $\text{m}^3$ と増大し、1972年にピークに達している。それに伴うかん水揚水量も1970年17.4万 $\text{m}^3$ 、1971年17.1万 $\text{m}^3$ 、1972年19.5万 $\text{m}^3$ 、1973年19.5万 $\text{m}^3$ と増加している。この結果、地域毎の地盤沈下を生じていることは明瞭であって、この5年間に、上記3926地点で344mmの沈下を示している。

第2図Dは1971年2月1日、Eは1972年2月1日基準日で1年間の変動量を示しており、水準点番号3934－3922の間の地点の測量が行われている。1970年からの地盤沈下の激しい地域における30%の自主規制にもかかわらず、天然ガス採取の影響と考えられる沈下が現れ、生産のピーク時を示すEの線が、同じ1年間の変動を示すDの線を上回っていることが認められ、全域において沈下がみられ、特に茂原、長生村を中心として顕著になっている。

## 5. 1974年以後の水準測量結果と天然ガス生産規制

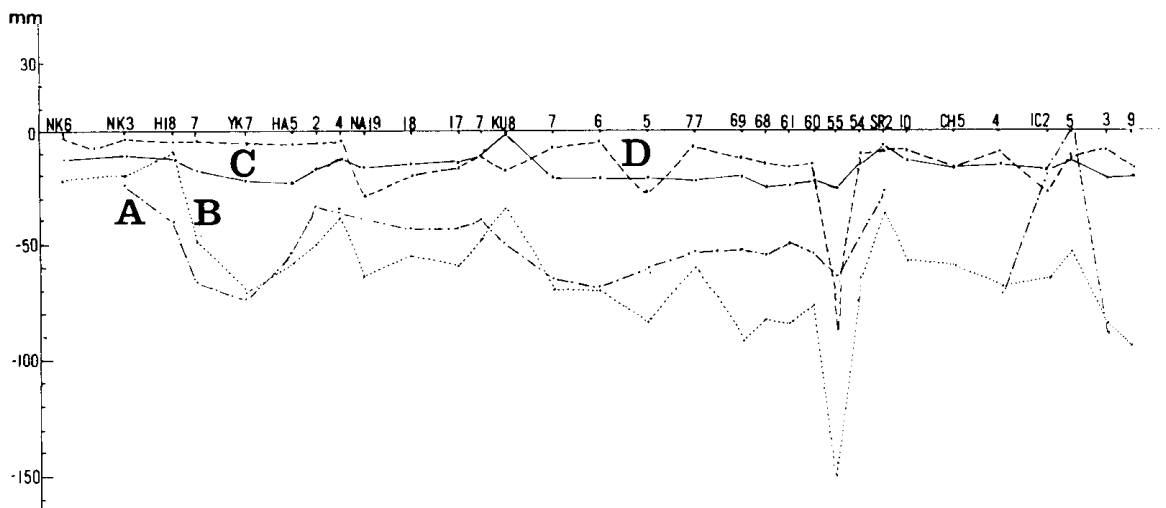
1972年1月1日から鉱区買い上げという形で、天然ガスかん水の汲み上げ全廃とした葛南地区に続き、九十九里地区は1973年に天然ガス生産企業との地盤沈下防止協定が調印され、1972年の実績に対し、削減率が井戸本数で47.0%、かん水汲み上げ量で37.7%と決められた。それに伴って、ガス生産も日量で、1974年120.0万 $\text{m}^3$ 、1975年115.0万 $\text{m}^3$ 、1976年112.9万 $\text{m}^3$ 、1977年107.7万 $\text{m}^3$ 、1978年107.7万 $\text{m}^3$ 、1979年105.5万 $\text{m}^3$ と次第に減少した。また天然ガスかん水揚水量も1974年18.5万 $\text{m}^3$ 、1975年18.1万 $\text{m}^3$ 、

第3図 水準点における標高の変動



A : 1974年1月～1979年1月 B : 1979年1月～1984年1月 C : 1984年1月～1989年1月  
D : 1987年11～12月～1988年1～2月

第4図 水準点における標高の変動



A : 1979年1月～1984年1月 B : 1984年1月～1989年1月 C : 1988年1月～1989年1月  
D : 1987年11～12月～1988年1～2月

1976年18.2万 $\text{m}^3$ ，1977年17.2万 $\text{m}^3$ ，1978年15.3万 $\text{m}^3$ と減った。また1969年から始められた地下還元が1975年ごろから増大し，揚水量から還元量を差し引いた排水量においても減少してきた。1974年17.3万 $\text{m}^3$ ，1975年16.2万 $\text{m}^3$ ，1976年16.3万 $\text{m}^3$ ，1977年14.5万 $\text{m}^3$ ，1979年15.3万 $\text{m}^3$ ，1980年16.5万 $\text{m}^3$ と減少傾向を示している。この結果，九十九里地域の地盤沈下は期待されたとおり，協定で規制された地域については，大幅な沈下量の減少となった。

第3図のAは1974～1979年，Bは1979～1984年，Cは1984～1989年とそれぞれ5年間の変動量を示した。第2図のD，Eと比較してわかるように，天然ガス採取地域においても，沈下量は数分の1に減少した。また太平洋沿岸地域でも沈下の傾向は同じであって，第4図のAは1979～1984年，Bは1984～1989年と，それぞれ5年間の変動を示している。Cは1989年1月1日を基準日とした1988年の変動を示していて，1年間の変動では最大20mm程度と，地盤沈下が鎮静化しつつある傾向を表している。

## 6. 1988年1～2月の水準測量結果と千葉県東方沖地震の影響

毎年1月1日を基準として公表されている水準測量結果は前年の10月から始められている。1988年1月1日基準の測量は九十九里地域については，前年12月17日の千葉県東方沖地震までに終了していた。したがって九十九里地域の1988年1月基準で公表された水準測量結果には，千葉県東方沖地震の影響が含まれていない。しかし，この地震により基準日での測量値に誤差が大きくなった。そのため，岬町から蓮沼村の九十九里地域にかけ1988年1，2月に再度測量が実施された。大原町にある国の基準点5を0とした地震前後の測量結果によると，大部分の水準点で沈下が観測され，その変動量の多くは+1mmから-15mm程度であった。第3図のDおよび第4図のDがその変動を示している。第3図の国道126号，128号沿

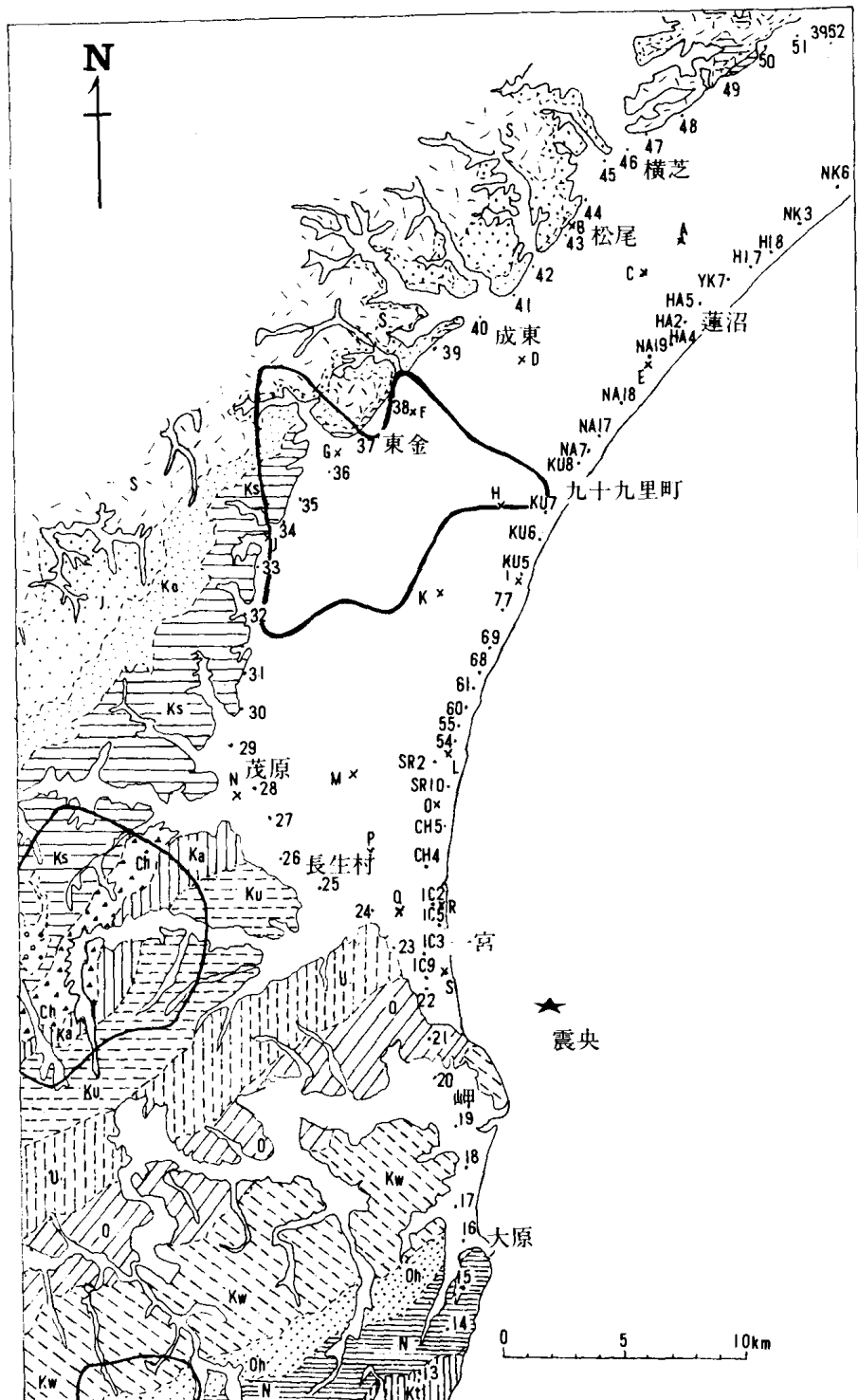


いにある水準点において、水準点番号3952～3944間、3934～3925間が比較的安定しており、3943～3933、3924～3915間で変動があったことを示している。また第4図の太平洋岸沿いにある水準点においても、HA4より北側が安定しており、その南側との差が認められる。

また、楡井（1988）は地下深部からの活地塊間の境界を境として地震被害、墓石の回転方向分布の違いがあり、関東地震時の変動の急変線と一致しているとした。水準点番号3940－3939の境界より北側では反時計廻り、3940－3939の境界から3927－3926の境界に挟まれる3つの活地塊では時計廻り、3927－3926の境界の南側は反時計廻りの回転が優勢となっているとした。さらに、屋根瓦の崩落、墓石の転倒など被害の多い地域は水準点番号3943－3942の境界と、3935－3934の境界の間であって、特に3939～3940間が多くなっており、3943－3942の境界より北側、3935－3934境界と3927－3926境界の間で被害が少なかったとした。

同じような沖積低地である九十九里地域において、気象庁の震度階では全域が震度5（強震）で表されているが、実際の地震被害が震源からの距離だけに関係していないことが注目されている。千葉県（1988）のアンケート調査による地震時の河角の震度階で、最も揺れの大きい震度8とした範囲は第5図の太線で囲んだ地域となっていて、明らかに地震動の違いが認められる。東金一大網白里付近の震度8の地域に含まれる水準点番号3938～3934地点および、この地域に隣接する太平洋沿岸の水準点の地点は比較的大きな変動を示している。また、長南町を中心とした震度8の地域は上総丘陵に入るが、これに隣接した九十九里低地においては、水準点番号3924～3922およびその東側の海岸の水準点地点で変動が大きい。震度8の両地域に挟まれた地域は、上記の被害の少なかった範囲に相当し、水準点における変動も小さくなっている。

第5図 地質略図および水準点番号



地層名：S：下総層群 J：地藏堂層 Ko：金剛地層 Ks：笠森層 Ch：長南層 Ka：柿の木台層  
 Ku：国本層 U：梅が瀬層 O：大田代層 Kw：黄和田層 Oh：大原層 N：浪花層 Kt：勝浦層  
 水準点番号 51～13は3951～3913を略す ボーリング地点 A～S  
 太線内は千葉県東方沖地震の河角震度階8の範囲

## 7. 水準点における地盤環境と変動

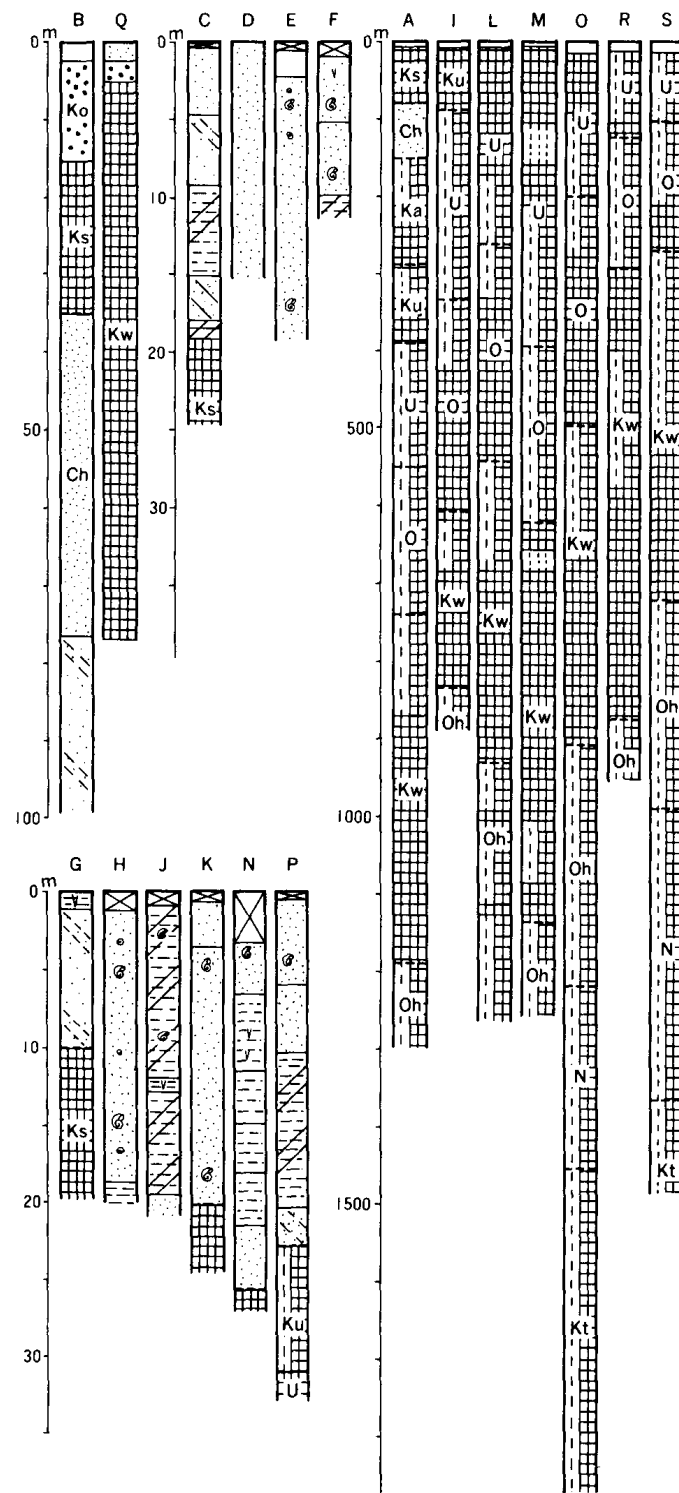
第5図の中に水準点番号地点の位置を示してあるが、3921、3913地点が上総層群からなる地盤に設けられている。それ以外は沖積層の地盤に設けられ、国道126号、128号に沿う台地、丘陵下の地点は比較的浅い層で上総層群になり、太平洋沿岸地域の水準点の多くは10m前後の沖積層の砂層の下に上総層群がみられる。

人為的な地下水汲み上げ、天然ガスかん水の汲み上げによる地層の収縮が水準点の標高変化に大きくきいている。水準点番号3921～3913のように上総層群が地表または地表近くにある地点では影響が小さいが、谷底であったような沖積層の厚い地域では沈下が大きい。特に、白子町剃金旭橋脇の水準点番号55は軟弱地盤であって、隣接地域に比べ沈下が著しく、千葉県東方沖地震の際にも沈下が最も大きくなっている。

第5図の地質概略図のように、九十九里低地の西側は北部の台地の表層に下総層群が、南部の丘陵は上総層群から構成されている。九十九里低地は表層の沖積層の下に、西側を構成する上総層群の地層が延びてきている。このことは第6図に示すボーリング結果に基づく地質柱状図で明らかである。

九十九里海岸平野の形成は、縄文海進以後に地盤隆起の傾向を幾たびか行いながら海岸線の後退をした結果である。森脇（1979）は「九十九里海岸平野の地形発達史」において砂堤群が大きく3時期の形成に分けられるとし、第Ⅰ砂堤群が約5500年前、第Ⅱ砂堤群が約3000年前を中心に形成され、第Ⅲ砂堤群が約1500年前から現在までに形成されたとしている。歴史時代に入ってから集落生成の経過をみても、台地、丘陵のふもとから出発し、次第に形成されていく砂丘列に沿って順次できていくことが明らかにされている。太平洋岸沿いにある新田集落は近世中期、納屋集落は近世中期から後期にできたとされている。

第6図 地質柱状図



A～Sおよび地層記号は第5図のボーリング地点および地層記号に対応する。

関東地震前後の地盤変動からみて、九十九里地域以南の著しい隆起地域に比べ、九十九里低地は地盤上昇が少なく、平常時も上昇傾向をもっていたと推定される。また、これら地域の間を楡井（1988）は養老川勝浦構造線と呼び、今村（1929）の関東地震時に発生した断層系と調和的だとした。また、鈴木・小玉（1981）は九十九里浜沿岸で、測地学的地塊と地質学的地塊の対応を明らかにしているが、基盤の地塊運動が被覆する地層の撓曲に反映されることは明らかである。活地塊の個々の変動が水準点の標高の変動とどのように関連しているか、地域開発の影響が重なっているだけに、明確にしにくくなっている。

## 8. 結び

九十九里地域において、地震の際の地盤の変動に地塊毎の差異が推定されるが、関東造盆地運動に引き続く地盤変動が平常時にも存在している。楡井（1988）はこのような活地塊の境界を水準点路線の上で示したが、例えば、水準点番号3943－3942の境は太平洋沿岸のHA4とNA19の間に伸びるといった境界線の方角を求めたい。それには平面的に検討できるような測定資料の増大を要しよう。

また、平均した自然の変動が最大でも、年に3mm程度であるのに対し、人間活動による地盤沈下が年に20mm程度もある。したがって、現在記録される変動から自然的な地盤変動だけを取り出すことは難しいが、九十九里地域においても、地質時代に続く地盤変動の動向の把握が必要であろう。

さらに、人間の自然環境への対応とし、地震など自然災害の予測、防災の立場から地盤の性質を正確に知る必要があり、今後の一層精密な地質調査と人工地震などによる解析が、深部の地質構造、地塊毎の変動の状況を明らかにしてくれるものと期待している。

## 参考文献

- 千葉県（1973, 1974, 1977, 1986）：房総半島総合開発計画土地分類基本調査 5 万分の 1 「上総大原・勝浦」「茂原」「東金・木戸」「八日市場」
- 千葉県（1989）：昭和62年（1987）千葉県東方沖地震－災害記録－
- 千葉県（1970～1973）：千葉県公害白書
- 千葉県（1974～1989）：千葉県環境白書
- 千葉県公害対策局（1970～1974）：九十九里地域水準測量成果表
- 千葉県環境部（1950）：九十九里地域水準測量成果表
- 千葉県環境部（1951～1964）：千葉県水準測量成果表
- 千葉県環境部（1977～1978）：九十九里地域地盤高調査報告
- 千葉県公害研究所（1973～1977）：千葉県の地盤沈下
- 千葉県公害研究所（1978～1985）：千葉県の地盤沈下と地震
- 千葉県公害研究所（1981）：千葉県天然ガスかん水採取量・ガス生産量  
公害研． 研究資料 8 巻 945.
- 千葉県公害研究所（1982）：九十九里ガス田の開発と地盤沈下 公害研・  
地盤沈下研究室報告 第 5 号
- 千葉県水質保全研究所地盤環境研究室（1986～）千葉県の地盤沈下と地震  
古野邦雄ほか（1989）：房総半島における1987年千葉県東方沖地震前後の  
水準測量結果 日本地質学会第96年学術大会講演要旨 672.
- 樋口 豊（1969）：千葉県ガス田地域における微化石層位学的研究 東北  
大地質古生物報告 61号 1～48.
- 今村明恒（1929）：大正十二年関東大地震の多元性と此地震に關聯せる断  
層系との關係に就いて 地震 1, 783～792.
- 金原均二ほか（1949）：千葉県茂原町附近の天然ガス 石油技協誌 14,  
6, 245～274.
- 河井興三（1961）：南関東ガス田地帯についての鉞床地質学的研究 石油  
技協誌26, 5, 212～266.
- 国土地理院（1953, 1964, 1965, 1969）水準測量報告
- 近藤精造（1973）：地盤沈下と地質との関連 千葉大環境科学研究報告  
1 巻 259～264.
- Miyabe.N. (1952) : Vertical Earth Movements in Japan as Deduced  
from the Results of Rerunning the Precise Levels. Bull. Earthq.  
Res. Inst. 30, 127～146.
- 森脇 広（1979）：九十九里浜平野の地形発達史 第四紀研究 18, 1,  
1～16.

- 楡井 久（1988）：地震時における地盤震動の地域的特異性 日本地質学会関東支部シンポジウム千葉県東方沖地震講演要旨集 53～58.
- 楡井 久，近藤精造，ほか（1989）：屋根瓦崩落調査とアンケート調査による地震動の地域的特異性 日本地質学会第96年学術大会講演要旨 674.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎（1981）：測地学的地塊の地質学的意味について 地質学論集， 20， 55～56.