

## 茨城県南西部における最近の測地学的変動について

斎藤英二\* 渡辺和明\* 宮崎純一\* 安田 聡\* 池田国昭\*

橋本知昌\* 羽坂俊一\*\* 桂島 茂\*\*\* 磯山 功\*\*\*

SAITO, E., WATANABE, K., MIYAZAKI, J., YASUDA, A., IKEDA, K., HASHIMOTO, T., HASAKA, T., KATSURAJIMA, S. and ISOYAMA, K. (1988) Geodetic movement of the southwestern part of Ibaraki Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 39 (10), p. 635-641.

**Abstract:** Precise leveling surveys have been carried out annually from 1983 to 1987 on a network over the area of Sashima, Yuuki and Tsukuba-Inashiki uplands in the southwestern part of Ibaraki Prefecture.

Sashima upland shows different movement from other two uplands, and between 1984 and 1985 it subsided 5 to 8 mm and upheaved 5 to 6 mm between 1985 and 1986. By this characteristic movement, presence of the geological block boundary in the basement between Sashima and Yuuki upland areas has been inferred.

Amount of the maximum subsidence of the Kinu Gawa and the Kokai Gawa area, a lowland between Yuuki and Tsukuba-Inashiki uplands, reaches 20 mm per year.

## 1. はじめに

関東平野の更新世後期の地殻変動については、多くの研究がある。貝塚(1974)は、下末吉層の変形から造盆地運動や波状運動を明らかにし、地震性地殻変動とも関連付けて考察している。小玉ほか(1981)は、常総粘土層の変形から地塊状あるいはブロック状の構造運動を明らかにしている。坂井ほか(1983)は、茨城県南西部における一等水準点の改測結果から震度分布と地殻変動との関係を考察しており、台地間に測地学的変動の不連続線が見られ、現在まで地塊運動が継続している可能性を示唆している。

筆者等はこれらの研究成果をふまえ、平野部の現在の地殻変動の実態について、測地学的手法を用いて検出することを試みた。対象地域は、地震活動の活発な地域の一つである茨城県南西部の岩井市つくば市に至る地域で、1983年から1987年まで延べ5回の精密水準測量を行なった。本報告では、主として変動パターンの特徴について述べる。なお、測量成果、変動量一覧、往復差・環閉合差、点の記などについては、地質調査所研究資料集 No. 46(斎藤ほか, 1987)を参照されたい。

## 2. 地形と地質の概要

関東平野は、周囲を山地や丘陵地に取り巻かれ、中央部には台地およびそれを開析した低地が分布する緩やかな盆状地形を呈している。台地の標高は、周辺で100-300 m、中央付近で10-20 mと盆状に低くなっており、台地面形成の時代対比などから、これが構造的な沈降運動で生じた、いわゆる関東構造盆地(YABE and AOKI, 1926)として古くから知られている。

調査対象地域である茨城県南西部の地形は、標高20 m前後の台地と、南ないし南東へ流下する大小河川に沿って発達した標高10 m前後の低地からなる。

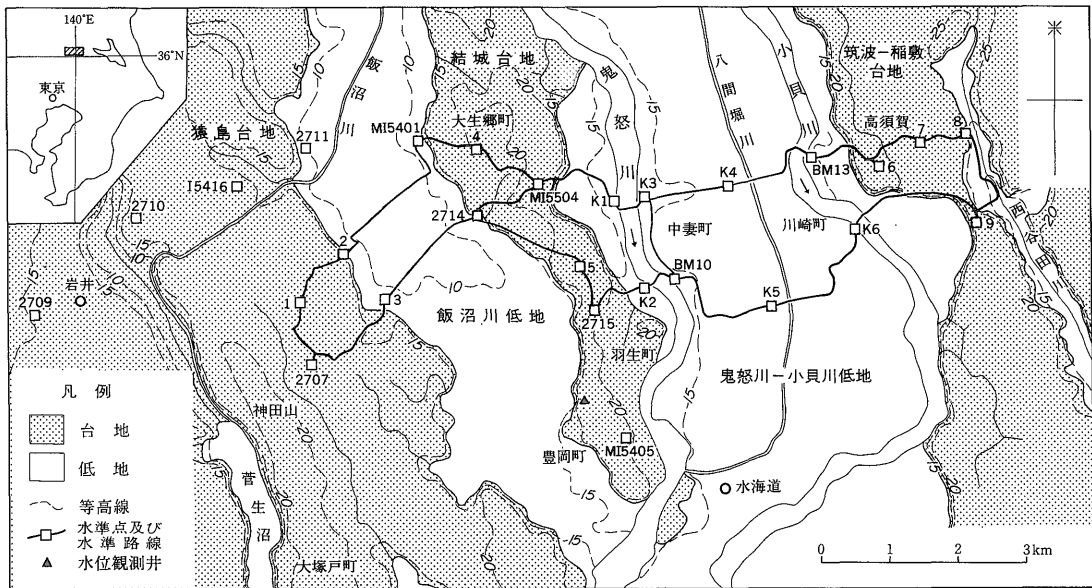
台地は西から、猿島台地、結城台地、筑波-稲敷台地の三つの台地からなる(第1図)。これらの台地の地形面は、南関東の小原台面に対比されている(菊池・羽鳥, 1969; 磯部ほか, 1988)。台地間には、飯沼川沿いに発達した飯沼川低地と、鬼怒川および小貝川沿いに発達した鬼怒川-小貝川低地がある。

## 2.1 台地の地形

## (1) 猿島台地

西を岩井低地に、東を飯沼川低地に挟まれた南北約38 km、東西約12 kmの台地で、台地面は全体として

\* 地質情報センター(旧技術部) \*\* 北海道支所 \*\*\* 元技術部



第1図 調査地域の地形区分および水準点、測量網位置

北から南および東から西に向かって緩く傾斜している。しかし、水海道市大塚戸町付近の標高は24m、岩井市神田山付近では17-20mと、この付近では北および東に向かって低くなる。台地面の侵食による開析は少なく、平坦面の保存は比較的良好。

飯沼川低地との境界は、8m前後の崖または急斜面となっているが、明瞭なのは岩井市猫美新田より北の地域である。

(2) 結城台地

西を飯沼川低地に、東を鬼怒川-小貝川低地に挟まれた南北約30km、東西約12kmの台地であるが、水海道市付近での台地の幅は、鬼怒川による開析で、最も狭いところで約1km程度まで狭められている。台地面は、大局的には北から南に緩く傾斜しているが、水海道市大生郷町付近では、標高18-20m、その南方の豊岡町付近では22-24mとなり、この付近では北および西に向かって傾斜している。台地面の開析度は他の台地と較べてやや進んでいる。

飯沼川低地との境界は、比高8-11mの崖または急斜面で境されているが、飯沼川低地の南端の豊岡町付近では不明瞭となる。鬼怒川-小貝川低地側は6-7mの崖または急斜面で境されているが、羽生町以南では不明瞭となる。

(3) 筑波-稲敷台地

西を鬼怒川-小貝川低地に、東を桜川低地に挟まれた

南北約44km、東西約38kmの台地である。台地面は、全体としては北から南に緩く傾斜しており、つくば市高須賀付近の標高は22-24mである。小貝川からつくば市西部にかけての地域は、西谷田川などの南流する河川によって台地が分断されているが、これらの河川による開析は浅く、台地面の保存は全般に良好。

鬼怒川-小貝川低地との比高は7-8mであり、明瞭な崖または急斜面で境されている。

2.2 低地の地形

(1) 飯沼川低地

猿島台地と結城台地の間の低地で、東西約2km、南北約10kmの狭長な低地である。低地の標高は、周囲で10-11m、中央付近で6-8mで、盆状地形を呈している。低地周囲には、比高1m前後の微高地の沖積段丘が形成されている(国土地理院, 1978, 1980)。

本低地は、南端の出口付近を鬼怒川の自然堤防によって塞がれ、かつては広大な沼地であった。18世紀初めには、菅生沼への排水工事に始まる干拓事業、さらに近年の排水設備の整備により水域が消滅し、現在の低地が形成された。

低地中央付近でのボーリング資料(国土地理院, 1980)によると、地表下約21mまで腐植物混りのシルト層が分布し、軟弱な地盤を形成している。本低地の沖積層基底深度は不明である。

(2) 鬼怒川-小貝川低地

西を結城台地に、東を筑波-稲敷台地に挟まれた南北約 20 km, 東西約 4 km の低地で、鬼怒川および小貝川により形成された自然堤防や後背低地などからなる。水海道市中妻町-川崎町付近を横切る断面では、台地縁直下の標高が 14-16 m, 中央付近が 12-13 m で、盆状地形を呈している。

水海道市川崎町でのボーリング資料 (国土地理院, 1978, 1980) によれば、地下浅部に腐植物混りの粘土またはシルトが分布し、全般に軟弱地盤を形成している。沖積層の厚さは、水海道市川崎町付近では約 30 m とされている (磯部ほか, 1988)。

### 3. 変動量観測

#### 3.1 測点の位置

測量網は岩井市神田山付近からつくば市高須賀付近にかけて東西約 10 km, 南北約 2 km の環状に設定した。環内にはさらに 2 本の対角路線を加えて“四”字型とした。総路線長は約 36 km である。測量網の西端および東端は、それぞれ猿島台地南東部および筑波-稲敷台地

南西部にあたる。水準点は、猿島, 結城, 筑波-稲敷の各台地上に 3 点以上乗るように配点した (第 1 図)。

使用した水準点は 22 点で、このうち 15 点は新設点, 7 点は既存の水準点である。既存水準点の内訳は、国土地理院の二等水準点が 3 点, 茨城県の地盤沈下測定用水準点が 2 点, 建設省の河川管理用の水準点が 2 点である。

新設点の埋石は、第 1 回の測量の約半年前に行なった。したがって、観測時までにはほぼ安定したと考える。水準点位置の地形区分は第 1 表の通りである。

#### 3.2 測定方法

測定は 1983 年から 1987 年まで各年 1 月から 3 月にかけて行ない、計 5 回の観測成果を得た。測量方法は、測量作業規程 (地質調査所, 1977) に基づく一級水準測量方式であり、観測制限は、往復差, 環閉合差ともに  $2.5\sqrt{S}$  mm (S は路線距離で km 単位) 以内である。

測定に使用した器械は、WILD 社製 N3 型精密水準儀と同社製精密水準標尺である。

測量網の中で鬼怒川と小貝川を渡る路線については、同時観測による交互法渡河水準測量を行なった。視準距

第 1 表 水準点別の地形区分

水準点	概略標高	地形区分	備考
2707	17.6 m	猿島台地上位面	国土地理院二等水準点
1	17.0	" "	
2	17.2	" "	
3	10.9	飯沼川低地低位段丘面 (猿島台地側)	
MI 5401	11.9	" " (結城台地側)	茨城県水準点
2714	10.7	" " ( " )	国土地理院二等水準点
4	19.3	結城台地上位面	
MI 5504	19.2	" "	茨城県水準点
5	22.3	" "	
2715	22.3	" "	国土地理院二等水準点
K-1	14.9	鬼怒川-小貝川低地 自然堤防	
K-2	14.6	" "	
BM 10	15.4	" "	建設省水準点
K-3	14.8	" "	
K-4	12.5	" 氾濫平野	
K-5	12.1	" "	
K-6	14.4	" 自然堤防	
BM 13	17.1	" "	建設省水準点
6	22.2	筑波-稲敷台地上位面	
7	21.7	" "	
8	19.8	" "	
9	23.7	" "	

地形区分は、土地条件図 (国土地理院, 1978, 1980) および同報告書 (国土地理院, 1978, 1980) によった。標高は水準点上面の標高であり、地盤高とは必ずしも一致しない。

離は190-270 mである。なお、1983年の第1回の観測時は、水準儀の一台が故障したための同時観測は行っていない。また、1984年以降は、渡河水準測量の誤差の点検のため、各河川の上流側と下流側の渡河路線を左右岸で結んだ水準測量環を設け、検測を行なった。

### 3.3 測量成果の基準

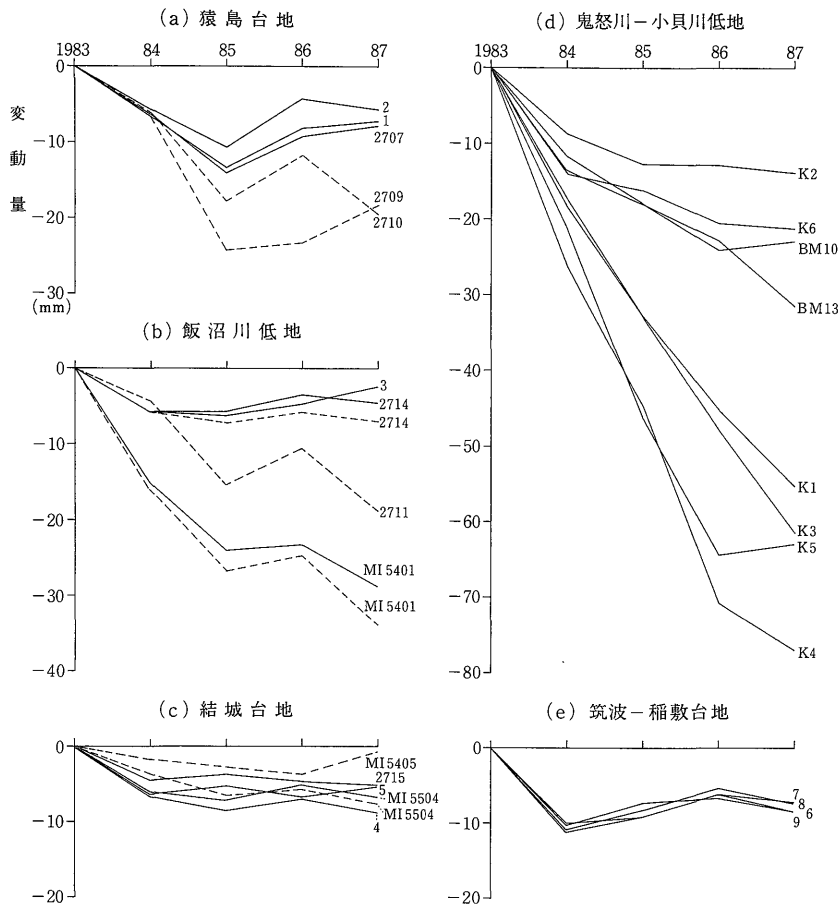
基準点は水準点2715とし、その標高は、茨城県が毎年行っている地盤変動測量の成果(茨城県, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987)を用いた。この成果の基準標高は、東京湾中等潮位高である。また、変動補正基準日\*は各年1月1日である。

筆者等の変動補正基準日は、各年2月1日としたため、

県の成果とは1ヶ月の差が生じる。双方の観測が重複している水準点のうち、水準点2715を除く2714, MI 5401, MI 5504の変動量を比較すると、4年間の累積差は最大5 mm(水準点 MI 5401)程度であった(第2図)。しかし、変動傾向はよく一致しており、基準日の1ヶ月の差は変動傾向を考察する上で無視できるものと考えられる。なお、以下で述べる、例えば1983-1984年の変動とは、1983年2月1日から1984年2月1日までの変動を示すものである。また、水準点名は番号のみで示すことにする。

### 4. 測定結果と考察

第1回の成果を基準とした地形区分ごとの変動パターン



第2図 地形区分別の水準点変動パターン 第1回の成果を基準としたもので、実線は筆者等の成果、破線は茨城県の成果による。標高基準点は2715とし、その値は茨城県の測量成果の各年の値を用いた。

\* 地盤変動測量において、何ヶ月かにわたる測量期間中に進行している変動を、基準日を設定して補正するもので、前回の基準日から今回の観測日の間の変動速度が一定と仮定して、比例計算により今回の基準日の値を求めるものである。

ンを第2図に示した。以下にその特徴を述べる。

#### 4.1 台地の変動

##### (1) 猿島台地

2707, 1, 2 では, 1984-1985年に5-8 mmの沈下, 1985-1986年に5-6 mmの隆起を示した。同じ猿島台地上にある2710の県の測定結果にも同様の変動パターンが現われており(第2図(a)), この変動が岩井市神田山付近一帯に共通した変動であることが分かる。一方, 猿島台地の2に対する相対的な変動量(第3図(a))を見ると, 1984-1986年にかけて, 大局的には西に向かって沈下量が増加する傾向を示している。

1986-1987年では, 2707や1で僅かな隆起傾向を示し,

県成果の2709も数mmの有意な隆起に転じた。一方, 北部の2710, 15416では沈下が進行している。したがって, この期間は大局的には北に向かって沈下量が増加する傾向を示している。

##### (2) 結城台地

4, MI 5504, 5, 2715では, 最大-9 mmの沈下を示したが, 1984-1987年では±2 mm程度に納まっており, 変動量は小さい。変動パターンは, 北側の4やMI 5504では1985年に沈下のピークがあるという点では, 猿島台地の測点に類似した傾向を示している(第2図(c))。一方, 南側の2715, 5は, 前述した猿島台地の特徴的な変動傾向は現われていない。したがって, 変動量が小さいために明瞭ではないが, 両者の間に測地学的変動パターンの異なる変動境界が存在する可能性がある。

2715を基準とした相対的な変動量(第3図(b))は, 北側の4で最大5 mmの沈下を示しており, 全体として僅かに北下がり傾向がある。

##### (3) 筑波-稲敷台地

1983-1984年は, 本台地では10-11 mmの沈下を示し, 猿島台地, 結城台地の5-7 mmの沈下に対して3-6 mm大きく沈下している。1984年以降は若干の隆起傾向が認められる(第2図(e))。しかし水準路線が沈下量の大きい低地を通過していることや渡河水準測量路線を含んでいることなどによる累積誤差を考慮すると, 大局的には結城台地に近い動き方を示したと考えられる。

6に対する相対的な変動量(第3図(c))は, ±2 mmの範囲に納まり, 見掛け上の傾斜変動や局所的な変動は認められない。

誤差の観点から考察すると, 筑波-稲敷台地の測点どうしの変動がこのようなよく一致したことは, 猿島台地や結城台地内で見られた相対的な変動量の僅少な差は, 必ずしも誤差の影響ではなく, 有意な変動傾向を表わしていると考えられる。

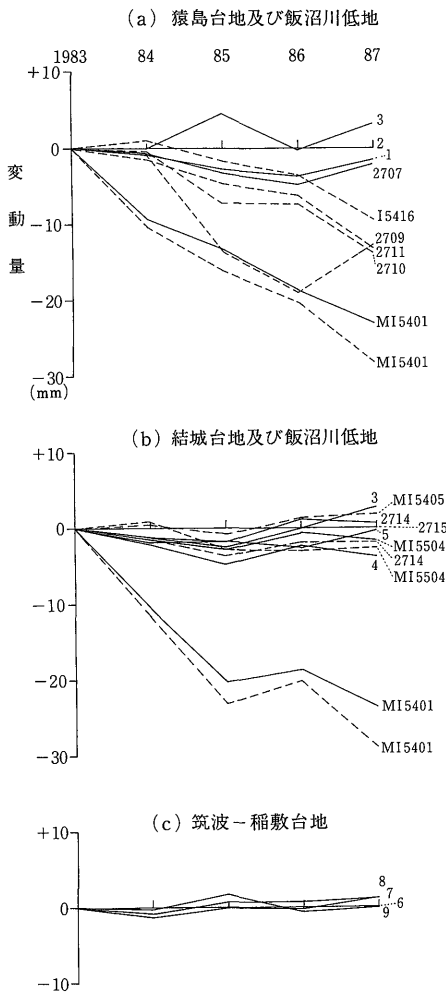
#### 4.2 低地の変動

##### (1) 飯沼川低地

本低地の水準点は, 低地周囲に配置されているため, 中央部の変動量は明らかでない。しかし, 台地からの距離が比較的離れているMI 5401では, 4年間で約30 mmに達する沈下を示しており(第2図(b)), 低地中央付近での大きな沈下が予想される。

MI 5401の変動パターンを見ると, 1985-1986年にかけて沈下の進行が一時的に止まっている。この現象は, 同期間の猿島台地の隆起に対応していると考えられ, ここでは猿島台地の変動に依存していることを示唆する。

2714は, 最大で-6 mm, 1984年以降では±2 mm



第3図 台地ごとの相対的な変動パターン 仮不動点はそれぞれ2, 2715, 6とし, 第1回を基準とした。実線は筆者等の成果, 破線は茨城県の成果による。

程度の範囲の変動に留まっている。変動量や変動パターンは、結城台地上の測点群に類似しており、水準点の位置も結城台地縁に極めて近いことから、結城台地に分類できると考えられる。

3の変動量も、2714と同程度である。興味深いのは、その位置が猿島台地側にありながら、前述した1984-1986年にかけての猿島台地の特徴的な変動パターンが明瞭に現われていないことである。一方、3の北西約2.5 kmにある2711は、3と同様に猿島台地側に位置する測点であるが、ここではその変動パターンが顕著に現われている(第2図(b))。このことから、本低地の西側では、2711と3の間に測地学的変動境界が推定できる。また、東側では、それに対応する変動境界がMI 5401と2714の間に想定される。この境界以北では、隣接する猿島台地と同様の変動パターンが現われている。南側に位置する3は、前述した結城台地南部の変動パターンと類似している。

(2) 鬼怒川-小貝川低地

当低地では変動量の大小からK1, K3, K4, K5とK2, BM10, K6, BM13の2群に分けられる。前者はどちらかという低地の中央より、後者は台地に近い部位にあり、低地中央部での沈下量が大きいことが分かる(第2図(d))。最も大きな沈下測点はK4で4年間に約80 mmの沈下を示した。K1, K3は4年間に55-60 mmの沈下を示し、台地から比較的近くにありながら、大きな沈下が継続的に現われている。K2の沈下量は1987年までに13 mmで、同低地の中でもっとも少なく、沈下速度は年々減少する傾向にある。この傾向は、BM10やK6にも見られる。1986-1987年に、BM13, K1, K3を除く測点で沈下の鈍化が生じたが、この原因については不明である。

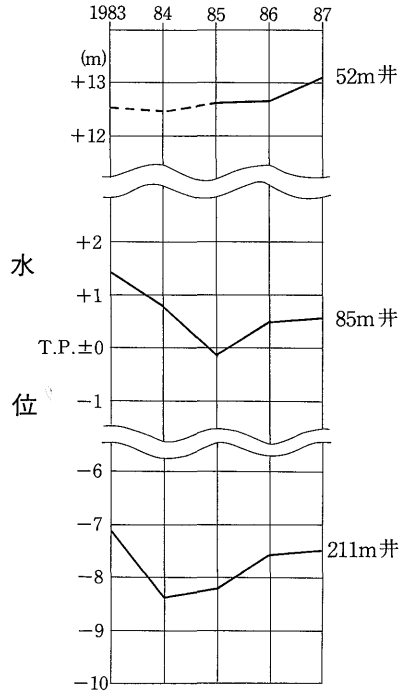
4.3 変動要因

変動の要因の検討については、現在までに考察を加え得る十分な資料を得ていない。ここでは数少ないデータの一つを紹介するに留める。

地下水位の変化は、一般に平野地域における地盤沈下の議論上欠かすことができない変動要因の一つである。第4図は茨城県が観測を行なっている「水海道給食センター観測井」(第1図▲印)の深度別の経年水位変化である。図中の水位は、測量期間にあたる各年の1-3月の平均水位をプロットしたものである。なお、1-3月の間の水位変化は少ない。

52 m 井では、1985年は欠測が多く変化は不明瞭である。1986-1987年では0.5 mの回復が見られる。

85 m 井では、1983-1985年にかけて1.4 mの低下、



第4図 水位観測井の経年水位変化 「水海道給食センター水位観測井」(第1図▲印)の深度別の経年水位変化を示す。水位は、各年の1-3月の平均水位である。T.P.は東京湾中等潮位高。各井戸のG.L.からのストレーナ深度は、52 m 井: 13.5-19 m, 24.5-30 m, 35.3-46.5 m, 85 m 井: 64-80.5 m, 211 m 井: 112-117.5 m, 134-150.5 m, 183.5-194.5 mである。

1985-1986年で0.5 m 回復した。

211 m 井では1983-1984年で1.4 mの低下、1984-1986年で0.5 mの回復が見られる。

これらの変化と測点別の変動パターン(第2図)を比較すると、

① 85 m 井の水位変化の推移は、猿島台地の2707, 1, 2の変化と類似している。

② 211 m 井のそれと筑波-稲敷台地上の6, 7, 8, 9の変化と類似している。

これらの関係が、水文地質学的な地下構造に対応したものか、あるいは単に地下水揚水の局所的影響によるものかについては、本データのみでは結論を出し得ない。したがって、ここではこれ以上の議論は差し控える。

5. まとめ

茨城県南西部の猿島、結城、筑波-稲敷の3つの台地

を跨ぐ精密水準測量の結果、次のような現象が明らかになった。

① 猿島台地では、1984-1985年に数 mm の沈下、1985-1986年に数 mm の隆起を示し、他の台地には明瞭に見られない特徴的な変動が認められた。本台地における見掛け上の傾斜変動は、1984-1986年にかけては西下がり、1986-1987年は北下がりの傾向があったものと考えられる。

② 結城台地では、他の台地と較べて変動が小さく、特に測量網の南側(羽生町の西方付近)では安定している。一方、北側(大生郷町付近)では沈下傾向が推察され、この間に測地学的変動境界が存在する可能性がある。

③ 筑波-稲敷台地では、1983-1984年に、他の台地より数 mm 多い沈下を示したが、有意かどうかは分からない。大局的な変動傾向としては、結城台地と類似している。台地の傾斜変化は認められない。

④ 飯沼川低地では、低地内に測地学的変動境界の存在が推定され、その北側は、猿島台地の1984-1986年にかけての特徴的な変動パターンと類似した変動を示している。

⑤ 鬼怒川-小貝川低地では、大局的には低地周辺より中央に近い測点ほど沈下量が大きく、最大の沈下速度は年 20 mm 程度である。1986-1987年には、一部の測点で沈下の減少があったが、その原因については不明である。

以上のように、今回の測定結果によって地形区分ごとの変動に違いがあることが明らかになった。その中でも、猿島台地と結城台地とは変動パターンが相違し、また、1984-1986年にかけての変動から結城台地および飯沼川低地において測地学的な変動境界が推定された。これらのことは、この付近の地下構造との係りに関して興味深い。今後これらの変動現象を引き起こした要因や地質構造との関係の解明のために、さらに広範囲で長期にわたる測定が必要である。

謝辞 測量にあたり、水準点用地の借用に快く承諾頂いた井上熊治氏、山崎克彦氏、小林光夫氏ならびに水海道市および関係各位の方々には心より感謝する。また、本報告をまとめるにあたって、茨城県環境局ならびに企画部からは地盤沈下、地下水位観測井のデータを御提供頂いた。地質調査所環境地質部の衣笠善博、宇野沢昭、燃料部鈴木尉元、小玉喜三郎諸氏からは多くの助言を、技術部特殊技術課の竹内三郎、吉川秀樹両技官には測量機材の改良、製作に協力して頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

## 文 献

地質調査所(1977) 測量作業規程. 238 p.

茨城県環境局公害対策課(1983) 茨城県地盤沈下調査報告書. 昭和 57 年度, 86 p.

———(1984) 茨城県地盤沈下調査報告書. 昭和 58 年度, 110 p.

———(1985) 茨城県地盤沈下調査報告書. 昭和 59 年度, 117 p.

———(1986) 茨城県地盤沈下調査報告書. 昭和 60 年度, 122 p.

———(1987) 茨城県地盤沈下調査報告書. 昭和 61 年度, 145 p.

磯部一洋・宇野沢昭・遠藤秀典・田口雄作・永井 茂・石井武政・相原輝雄・岡 重文(1988) 筑波研究学園都市及び周辺の環境地質図説明書. 地質調査所, 139 p.

貝塚爽平(1974) 関東地方の島弧における位置と第四紀地殻変動. 関東地方の地震と地殻変動, ラテイス, 東京, p. 99-118.

菊池隆男・羽鳥謙三(1969) 古海岸平野研究への提言—沿岸平野としての関東洪積台地—. 日本地質学会シンポジウム資料集, 沿岸平野, p. 141-145.

小玉喜三郎・堀口万吉・鈴木尉元・三梨 昂(1981) 更新世後期における関東平野の地塊状構造盆地運動. 地質学論集, no. 20, p. 113-128.

国土地理院(1977) 2万5千分の1土地条件図「土浦」. ———(1978) 土地条件調査報告書(土浦, 佐原地区). 111 p.

———(1979) 2万5千分の1土地条件図「水海道」.

———(1980) 土地条件調査報告書(古河地区). 148 p.

斎藤英二・渡辺和明・宮崎純一・安田 聡・池田国昭・橋本知昌・羽坂俊一・桂島 茂・磯山 功(1987) 茨城県南西部の精密水準測量成果. 地質調査所研究資料集, no. 46

坂井栄信・立中秀徳・橋倉 浩・小玉喜三郎・鈴木尉元(1983) 鹿島灘沖地震(1982年3月7日, 7月23日)の震度分布と地塊構造との関係. 構造地質, no. 29, p. 97-112.

YABE and AOKI (1926) The Great Kwanto Earthquake of September 1, 1923, Ann. Rep. Saito Gratitude Foundation, no. 1, p. 70-83.

(受付: 1988年3月4日; 受理: 1988年5月12日)