

新潟平野の“地盤のパルス”について(予報)

青 木 滋*

Preliminary report on the so-called pulse of the ground observed in the Niigata plain.

by

Shigeru AOKI

(Abstract)

1. Since 1955, rapid land subsidence occurred in and around Niigata City by withdrawal of natural gas bearing water. As a result of several control for water extraction, rate of subsidence has become rapidly decrease as shown in Fig. 5. After the sixth countermeasures of water injection in 1942, the ground surface of the Niigata plain has shown vertical fluctuation which is called as “pulse of the ground” as shown in Figs, 2 and 5.
2. Similar phenomena can be recognized in the other land subsidence areas such as Tokyo, Saga in Japan during the decreasing period of subsidence rate. MIYABE (1966) considered that the fluctuation of the ground in central part of Tokyo (Fig. 9) might be caused by the seasonal change of the tidal loading of sea water of Tokyo Bay.
3. In Niigata plain, the pulse of the ground has close relation with the vertical movement of the deeper layer as shown in Fig. 6 on the basis of record of observation wells.

Therefore, the pulse phenomena may have been caused by a kind of natural movement of the deeper layer, but the amount of displacement of ground surface is larger than that of the so-called natural crustal movement.

い ま え が き

昭和30年頃から発生した新潟市及びその内陸部の急激な地盤沈下は、鉱業用天然ガスのガス水揚水の自主規制という対策によって、沈下速度が減少し、さらに、昭和47年から48年にかけて実施された第6回規制により、いちじるしく減少し、一部には隆起現象(最大2.8 cm/年)もみられた。この規制とは、それまで揚水していたガス水を、ガス分離後、全量(177,360 m³/日)を地下に注入するという日本では他に例をみない画期的な方法であった。しかしながら同じような注入対策のとられたアメリカのロングビーチの例(MAYUGA, 1970)と異なり、49年-50年には、再び沈下に転じ、以後、現在に至るまで、1~

*新潟大学積雪地域災害研究センター

2年ごとに、1～2 cmの振幅で沈下と隆起をくり返している。このような現象を“地盤のパルス（脈動）”とよび（青木、1982）、ここでは、予察的にこの原因について考察を試みる。

この問題について討論していただいた東京都土木技術研究所遠藤毅博士、新潟大学災害研究センター藤田至則博士、茨城大学理学部藤井陽一郎博士、および、北陸農政局信濃川水系農業水利事務所の方々と新潟地盤沈下対策研究委員会委員の各位に御礼を申し上げます。

Ⅱ 水準測量結果からみた最近の地盤変動状況

新潟地区の水準測量は、明治30年以来国土地理院が実施してきたが、昭和33年から、農林水産省が主として内陸部を、昭和51年から運輸省、新潟県が測量を開始し、昭和56年度現在で、1級水準路線174 km、2級水準路線209 km、計383 kmの路線の水準測量が年1回行われている（図-1）。測量の基準日は9月1日である。

この地区の仮不動点は、新潟地震（昭和39年6月16日）以前は、北蒲原郡加治川村の1級水準点6475を使用していたが、地震による影響がみられたので、地震以後は、西蒲原郡岩室村の1級水準点4438に変更した（図-1）。これらの測量結果は、北陸農政局信濃川水系農業水利調査事務所（1982）によってまとめられている。

新潟地区の水準測量で顕著な隆起が出現したのは、昭和48年9月1日～49年9月1日の間で、図-2には、昭和46年～47年から、昭和55年～56年までの10年間の各年間変動量を示した。これによると、変動量の平面的パターンの変化には、次のような特徴がみとめられる。

- 1) 昭和46年～48年：沈下区域の縮小
- 2) 昭和48年～49年：広範囲区域の隆起（+1～2 cm）。西南区域、信濃川河口海岸部の沈下
- 3) 昭和49年～50年：西南区域をのぞき、広範囲区域の沈下
- 4) 昭和50年～51年：西側区域隆起（+1 cm）、東側区域沈下（隆起、沈下区域の混在）
- 5) 昭和51年～52年：広範囲区域の隆起（+1～2 cm）、西南区域、阿賀野川河口付近、福島潟付近の沈下

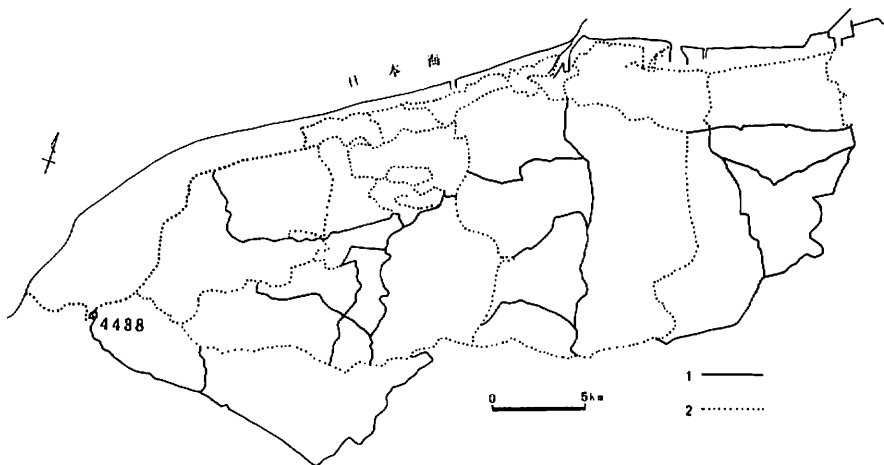


図-1 水準測量路線図（昭和56年9月現在）

1. 農林省、2. 地理院他

Fig.1 Rout map of precise levelling

図-2 各年の沈下量曲線図 (cm) 暗灰色：隆起地域, 白色：沈下地域
 Fig.2 Yearly subsidence map (cm) in and around Niigata city
 dark grey colour : rising or rebound areas
 white colour : subsidence areas

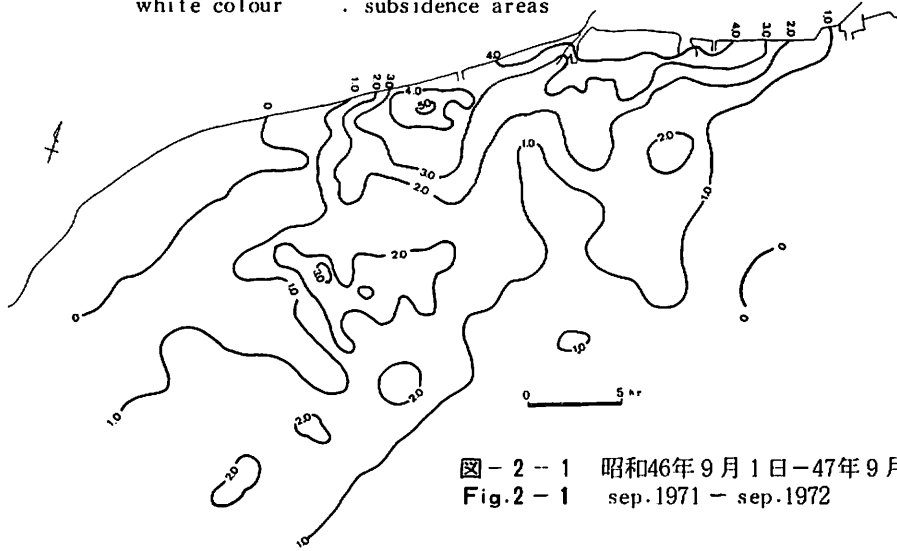


図-2-1 昭和46年9月1日-47年9月1日
 Fig.2-1 sep.1971 - sep.1972

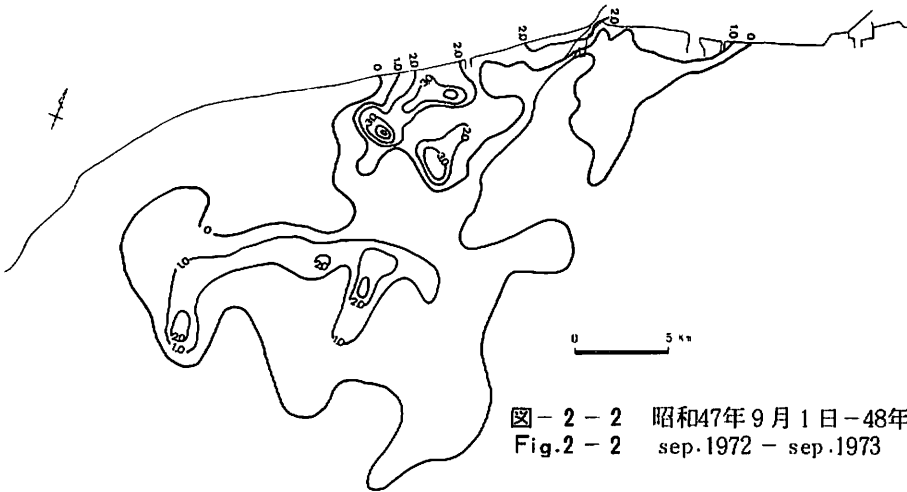


図-2-2 昭和47年9月1日-48年9月1日
 Fig.2-2 sep.1972 - sep.1973

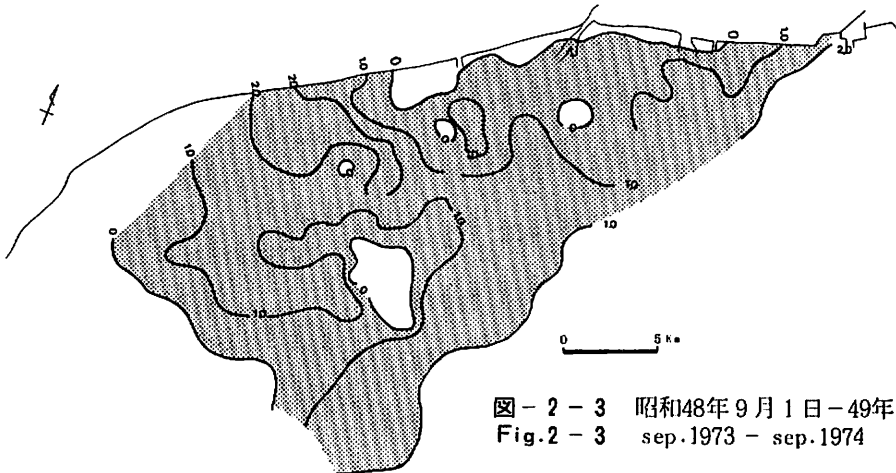


図-2-3 昭和48年9月1日-49年9月1日
 Fig.2-3 sep.1973 - sep.1974

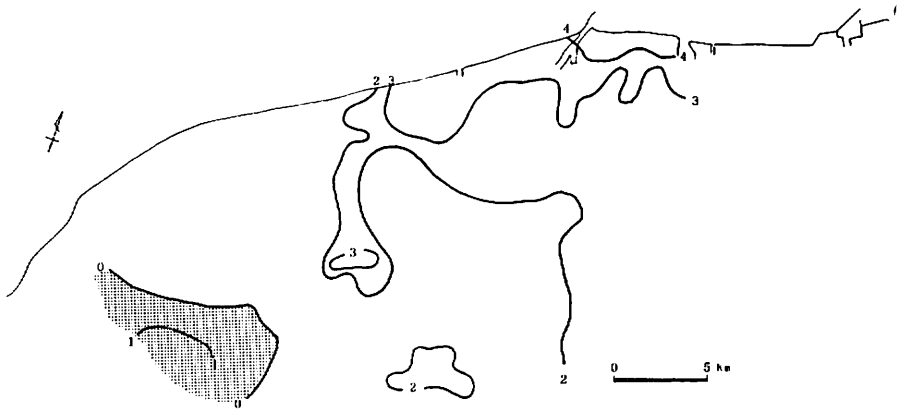


图-2-4 昭和49年9月1日-50年9月1日
 Fig.2-4 sep.1974 - sep.1975

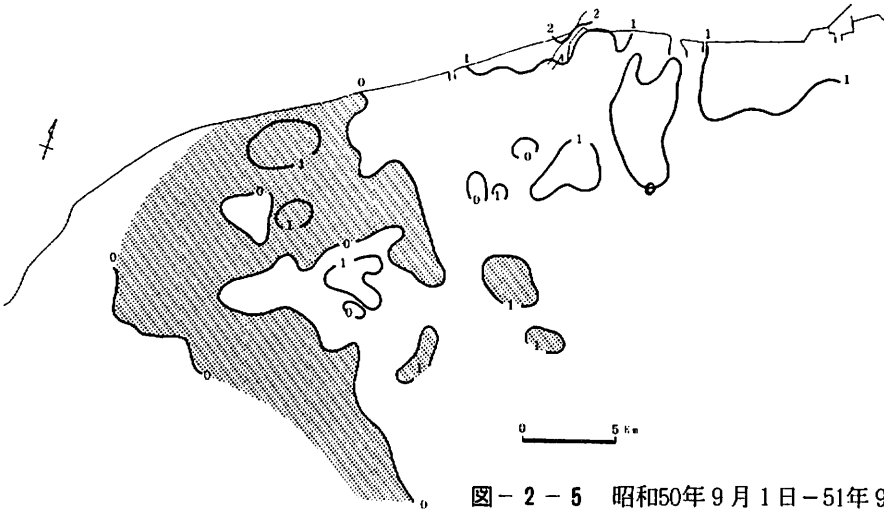


图-2-5 昭和50年9月1日-51年9月1日
 Fig.2-5 sep.1975 - sep.1976

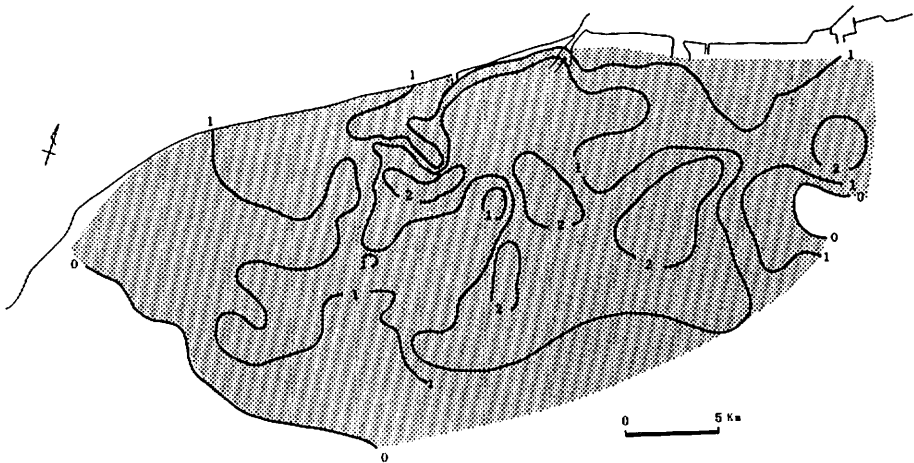


图-2-6 昭和51年9月1日-52年9月1日
 Fig.2-6 sep.1976 - 1977

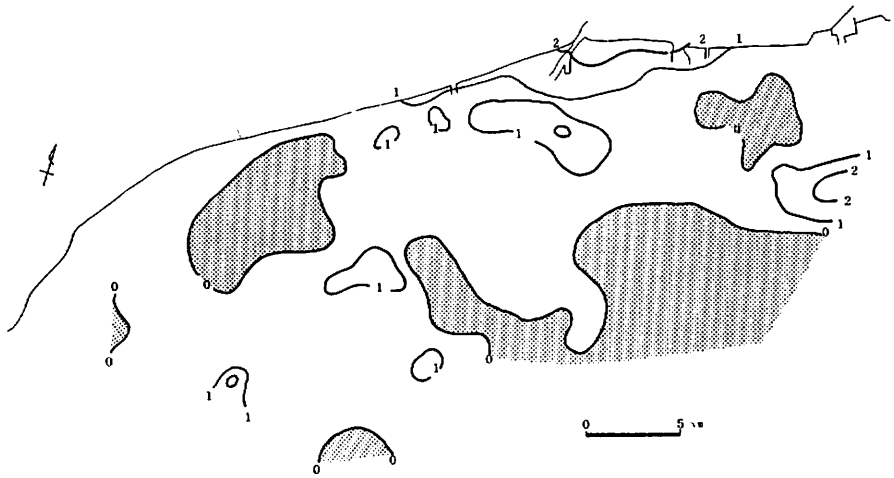


图-2-7 昭和52年9月1日-53年9月1日
Fig.2-7 sep.1977 - sep.1978

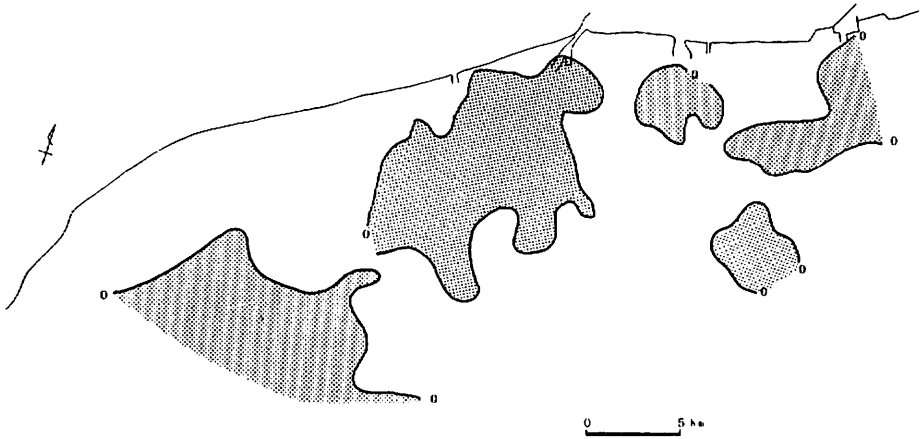


图-2-8 昭和53年9月1日-54年9月1日
Fig.2-8 sep.1978 - sep.1979

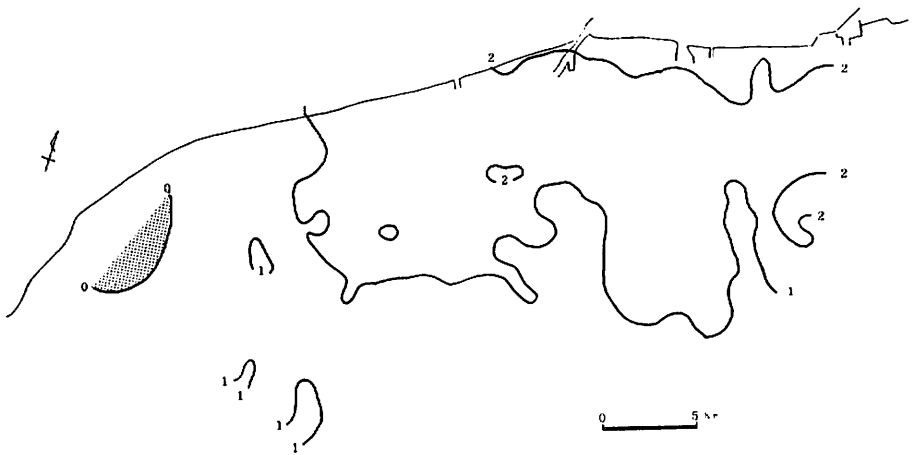


图-2-9 昭和54年9月1日-55年9月1日
Fig.2-9 sep.1979 - sep.1980

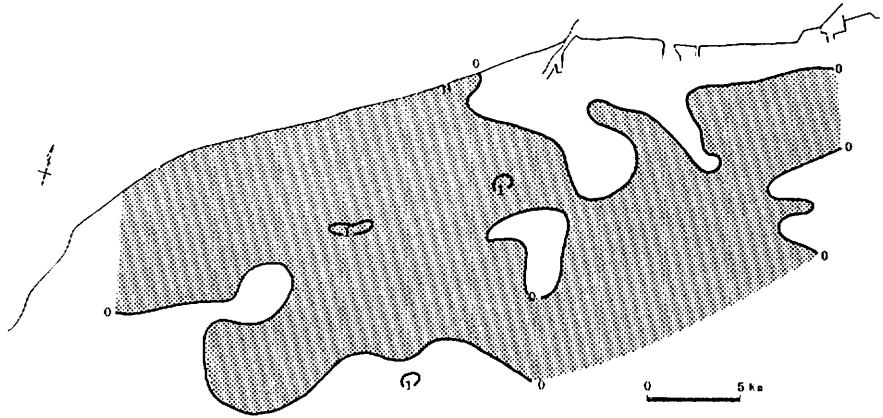


図-2-10 昭和55年9月1日-56年9月1日
Fig.2-10 sep.1979 - sep.1980

- 6) 昭和52年-54年：沈下，隆起区域の混在
- 7) 昭和54年-55年：広範囲区域の沈下
- 8) 昭和55年-56年：かなり広範囲区域の隆起，西南区域，信濃川・阿賀野川河口付近，福島潟付近沈下

以上のように，49年以降広域の隆起を示した年は，49，52，56年の3回，広域沈下を示した年は，50年，55年の2回，隆起，沈下が混在している年は，51年，53年，54年の3回である。地区全体でみた時，この期間の広域隆起の周期は，3～4年，広域沈下の周期は5年で，隆起，沈下の変動幅は，最大で5cm位である。

図-3には，48年～56年の8年間に隆起の生じた回数別に，地区内を区分したもので，最高は6回，最低は0回で，地域的な規則性はみとめられない。

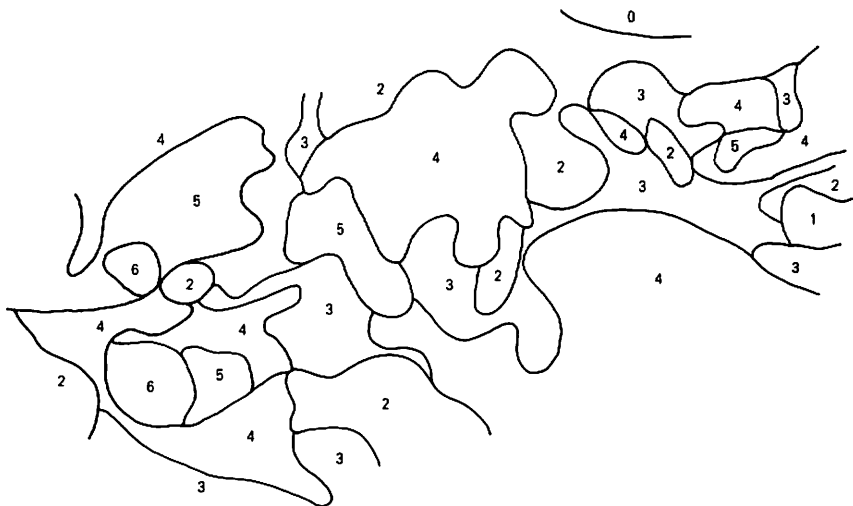


図-3 8年間のリバウンド（隆起）の回数
Fig.3 Number of rebound during 1973 to 1980

前述の第6回規制以後のこのような各年あるいは8年間の変動量分布パターンは、地区内の揚水量（注入量）分布や地質学的特性とは、ほとんど無関係な様相を示し、それまでの変動量分布のパターンとは、かなり異なった複雑な様相を呈している。

Ⅲ 新潟平野の地盤沈下の phase と地盤のパルス

新潟平野の地盤沈下の経過と現状については、青木（1977）、（1982）によって報告されている。いま地盤沈下の経過を水位と沈下速度の経年変化の関係で、phase（青木，1971）にわけると次の通りである（図-4）。

- phase I（昭和31年～33年）：水位が低下し、沈下が進行する。
- phase II（昭和34年～37年）：水位が上昇し、沈下速度は phase I にくらべ減少するが、依然として進行する。
- phase III（昭和38年～47年）：水位が横ばいの状態がつづき、沈下が進行する。
- phase IV（昭和48年～現在）：水位が上昇し、地盤が隆起、沈下をくり返す。

このような phase は、地域によって若干の差があるが、他の地盤沈下地域（例えば、東京、大阪）でもみとめられている。新潟平野の場合、各 phase の境は、各々対策の時期とほぼ一致する。

- phase I → II：第1回規制
- phase II → III：第4回規制以後1年
- phase III → IV：第6回規制

“地盤のパルス”は、これらの phase からみると、phase IV の特徴的現象のようにみられるが、図-5 に示した水準点の沈下量の経年変化をみると、沈下速度が減少しはじめた phase III の昭和41年頃から隆起は生じていないが、大小の沈下のくり返し、すなわち“パルス”がみとめられる。また、増原（1976）は、新潟の地盤沈下の測量結果について次のように述べている。「短期間に水準測量をくり返したおかげで副次的な産物もあった。沈下がそれほど激しくなかった新潟市の周辺部で、6ヶ月ごとの測量結果を比較すると、大きな沈下が交互にあらわれる。そのちがいは1.5 cm もあった。どうも地盤が季節によってあがったり下がったりしているらしい。（中略）地盤が季節変動を示す原因はまだ解明されていないが、大地が生命をもっているかのようで大変面白い。」（p.218）。この記述には、年が示されていないので、はっきりしたことはわからないが、測量期間からみて、沈下の初期の頃、

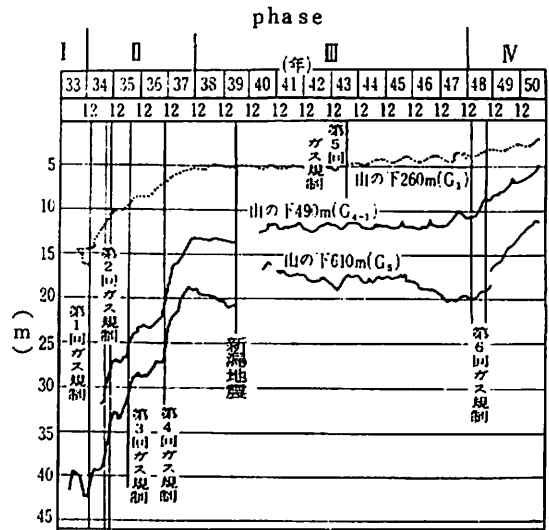


図-4 地下水頭の変化（山の下地区）と phase
Fig.4 Change of ground water level (Yama-noshita) and phase.

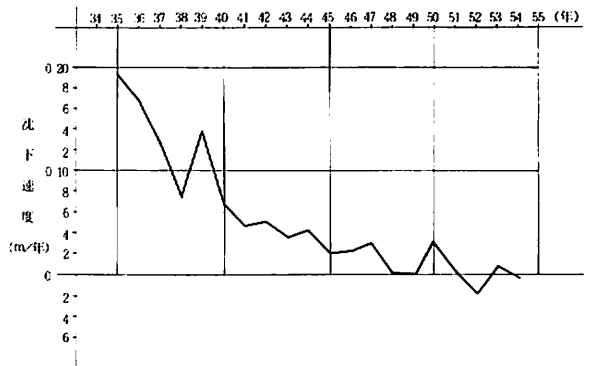


図-5 水準点の高さの経年変化（建設1-4424）
Fig.5 Vertical movement, Bench mark Ken-setsu 1-4424

おそらく、 phase I, II の頃と思われる。

以上のことからみると、主に水準測量結果からみられる“地盤の Puls”は年毎の大小の沈下のくり返しという点では、とくに phase と関係なく沈下速度の小さい地域にみとめられ、隆起・沈下のくり返しは、全体的に、とくに沈下速度が小さくなった phase IV に顕著になっている。

IV 地層の収縮・膨脹と“地盤の Puls”

地下の地層の深度別（層別）収縮量は、観測井群の観測記録からよみとることができる。一例を図-6 に示す。

前述の phase と層別収縮量（累計）をみると、海岸部と内陸部で傾向が異なる。

1. 海岸部

山の下観測井群では、I 層（0 - 260 m）、II 層（260 - 490 m）、III 層（490 - 1,200 m）ともに収縮傾向がつづき、累計収縮量の最大は、II 層が最も小さい（I 層とほぼ同じ位だが）。

phase III から IV にかけて、収縮速度が小さくなる傾向がある。

大形観測井群では、III 層（440 - 520 m）をのぞいて、I 層（0 - 350 m）、II 層（350 - 440 m）共に収縮傾向が続く、phase III から IV にかけて、収縮速度が小さくなる傾向がみられる。III 層は、phase III に膨脹傾向（+4mm）がつづくが、phase IV になると、収縮傾向にかわる。トータルでは、収縮傾向である。

2. 内陸部

金巻観測井群では、I 層（0 - 180 m）の収縮が継続し、II 層（180 - 598 m）は、phase IV に入って、脈動しながら膨脹傾向を示す。III 層（598 - 950 m）

は、phase III では、膨脹傾向にあったのが、phase IV では、膨脹速度が小さくなっている。トータルでは、収縮傾向である。

黒鳥観測井群では、I 層（0 - 170 m）は収縮がつづき、II 層（170 - 730 m）は、phase III では、収縮がほぼ 0 で横ばいであったのが、phase IV では、脈動しながら膨脹に転じている。III 層（730 - 1,050 m）は、phase III では、膨脹で横ばいがつづき、phase IV では、膨脹速度に変化が生じている。トータルでは、収縮のままほぼ横ばいをつづけている。

水準測量の結果は、層別収縮・膨脹の総計に上記の観測井群の最も深い観測井以深の動きが加わってくる。この動きを知るためには、観測井管頭の水準測量が必要であるが、新潟県では、この測量は昭和50年以降から年1回行われているだけである。

黒鳥地区の観測井群のうち、III 層以深（1,050 m 以深）を IV 層とし、昭和45年以降の近接水準点の変動量と、I ~ III 層の変動量の差（=IV 層の動き）を示すと、図-6 のようになる。これによると IV 層は、昭和45年か

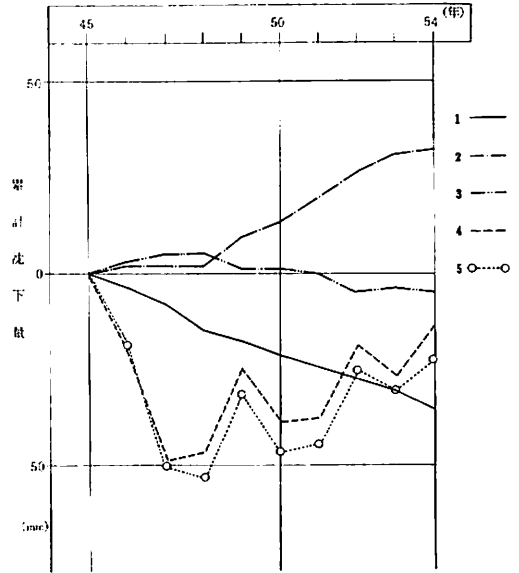


図-6 層別収縮量の経年変化（黒鳥地区）

1. I 層, 2. II 層, 3. III 層, 4. IV 層,
5. 近接水準点

Fig.6 Yearly change of partial compaction of soil layers. (Kurotori observation wells)
1 : layer I, 2 : layer II, 3 : layer III, 4 : layer IV, 5 : bench mark

ら47年にかけて、50mmの沈下を示し、48年には沈下速度が減少し、49年以降（phase IV）になると、ほぼ1年周期で隆起と沈下をくり返すパルス現象を示している。この動きは、近接水準点の動きときわめてよく類似している。

したがって、新潟平野にみられる“地盤のパルス”は、層別の収縮・膨脹とはあまり関係がなく、深層（黒鳥地区では約1,000m以深）の地層の動きを反映していると考えられる。

V 他地域の例

大地震前後の急激な地盤の変動をのぞけば、地盤の沈下の停止または隆起については、第2次大戦後期から直後にかけての東京、大阪の下町の例が古くから知られており、いずれも戦前からの地盤沈下地域で、工業用地下水の揚水停止によるものである。この他の地盤沈下地域では、アメリカのロングビーチ(MAYUGA, 1970)、船橋市(楡井ほか, 1975)、川崎市(垣見, 1979)などで、水の地下注入や地下水の揚水規制によって地下水頭が上昇し、地盤が隆起した。その量は、ロングビーチで最大約13 cm/3年(図-7)船橋市で5 cm/3年、川崎市で7 cm/6年(図-8)であるが、いずれもここで述べたような“地盤パルス”は不明瞭である。この3地区の隆起は、いずれも地下水頭上昇にともなう第三紀層の弾性変形によるもので、同様な例が炭田地帯でも知られている(楡井, 1980)。

つぎに、新潟平野と地盤構成の類似している地盤沈下地域として、東京、大阪、佐賀の例を検討してみる。

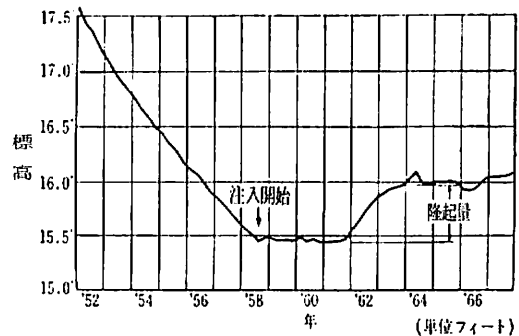


図-7 ロングビーチ市の水準点標高の経年変化
Fig.7 Vertical movement, bench mark No. 1350, Pier A, Long beach (MAYUGA, 1970)

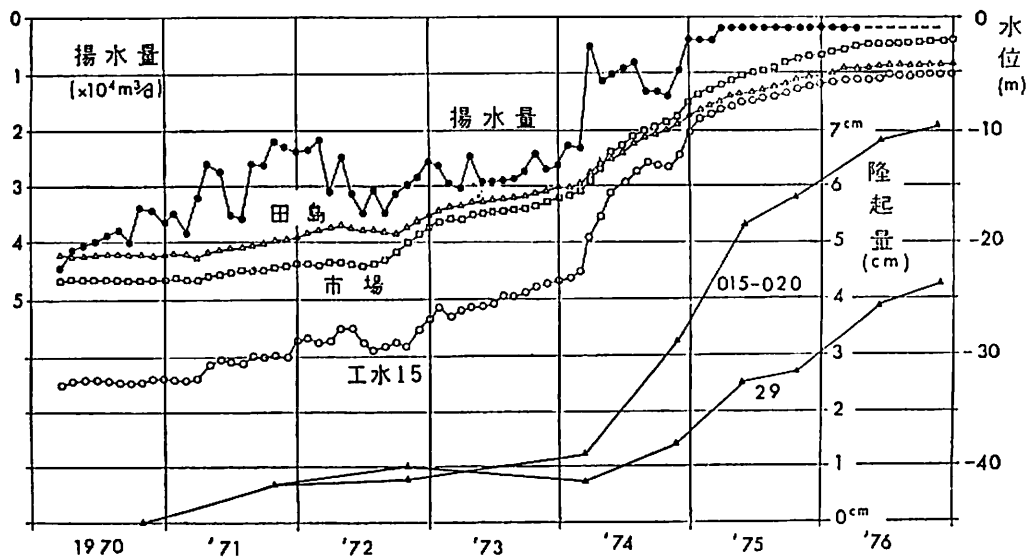


図-8 川崎市における揚水量、地下水位、隆起量の関係(垣見, 1979)
Fig.8 Change of amount of ground water withdrawal, ground water level and vertical movement of bench marks in Kawasaki City

東京の下町では、昭和43年には、荒川河口を中心に20 cm/年の沈下が生じたが、各種の揚水規制により、昭和48年頃から地盤沈下は急速に減少し、昭和49-51年には一部に+10mmの地域が出現した。その後51年-53年には全体的に沈下、53年-54年には全体的に0、54年-55年には沈下というように、パルス状の動きを示している（都土木技研、1981）。

② 大阪では、昭和47年から地盤の隆起が現われはじめ、50年の最大隆起量は18.9 mmを示し、1 cm以上の隆起地域が広がった。しかし、パルスの現象は報告されていない（柴田、1982）。

③ 佐賀-白石平野では、昭和49-50年から隆起を示し（最大9.8 mm）、53-54年には、全体的に沈下を示している（最大80 mm）。測量起点から遠く、沈下量が小さい佐賀地区では、観測井は沈下（収縮）を示しているのに、水準測量では前年に比して一斉に隆起を示したことがある。6-9年間の累計収縮量と水準測量との差は、±3 cm程度で、佐賀中心部では、基盤（観測井底以深）が隆起し、周辺部では沈降を示している。白石地区では、4-6年間の観測井と水準測量の累積値の差は、10数 cmに達する（大島、1982）。

つぎに、“パルス現象”に注目した研究を紹介する。

宮部（1966）は、東京下町の丸ノ内地区の地盤の上下方向の変動現象に注目して、その原因の考察を行っている。この地区では、ビルにとりつけた特殊水準点の測量を1952（昭和27）年以降半年間隔で行ってきた（図-9）。これをみると、半年～1年周期で地盤が fluctuate しており（変動幅1-2

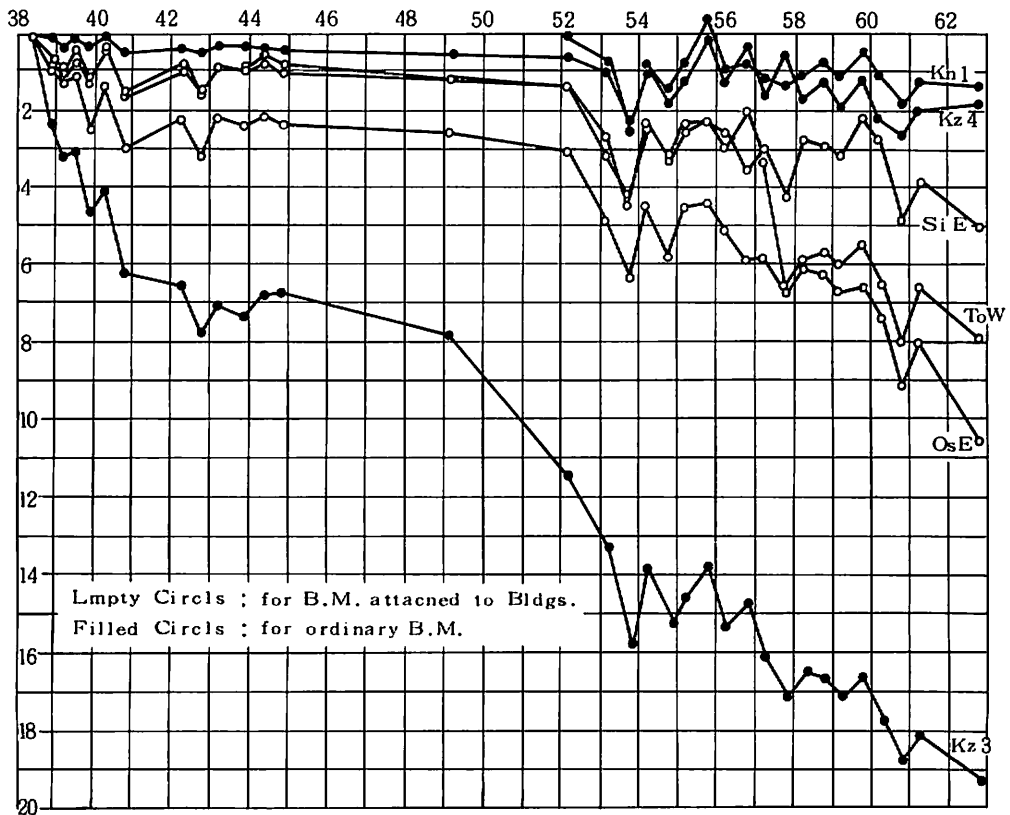


図-9 東京丸ノ内地区の水準点標高の変化 (MIYABE, 1966)

Fig.9 Vertical displacement of bench marks in the central part of Tokyo, since 1939

cm)、宮部は、この動きを地盤傾動の季節的变化とし、その原因を東京湾海水の荷重の季節的变化によるものと考えた。すなわち、東京湾の潮位は夏と秋に高くなり、この時期に地盤は東京湾方向へ傾くとした。

遠藤・山田(1970)は、東京下町低地の洪積層表面の変動を、観測井の基準鉄管のベンチの測量結果(年1回)から解析し、次のような結論をのべている(図-10)。

1. 一定の周期運動をしている。(2-3年周期, 1-3 cmの振幅)
2. 洪積層が地表面から浅く分布しているところでは、変動量の幅が小さく、地表面から-100 mのところでは、変動幅が大きい。
3. 昭和32(1957)年頃から、江東三角州東南部では、1の周期運動を包含しながら別の大きな変動を示している。この変動は、地下水位の上下運動の勾配と平行している。
4. 深層部の沈下は、洪積層の層相と透水性に左右される。

一方、地盤のパルス現象に類似する地殻の短周期変動を、地殻変動観測では、原因は不明としながらも、“ゆらぎ”とよんでいる(例えば、笠原ほか, 1973)。

さらに、地震予知の一貫として精密水準測量をくり返している静岡県御前崎では、測程期間を短縮してから、冬から夏にかけて隆起、夏から冬にかけて沈下するパターンを示している。たとえば、55年末から56年5月にかけて約9mm隆起し、その後同年11月までに16mm沈下した。このような変動に対して、地震予知連絡会は、56年11月に“季節的変動”という判断を示している*。

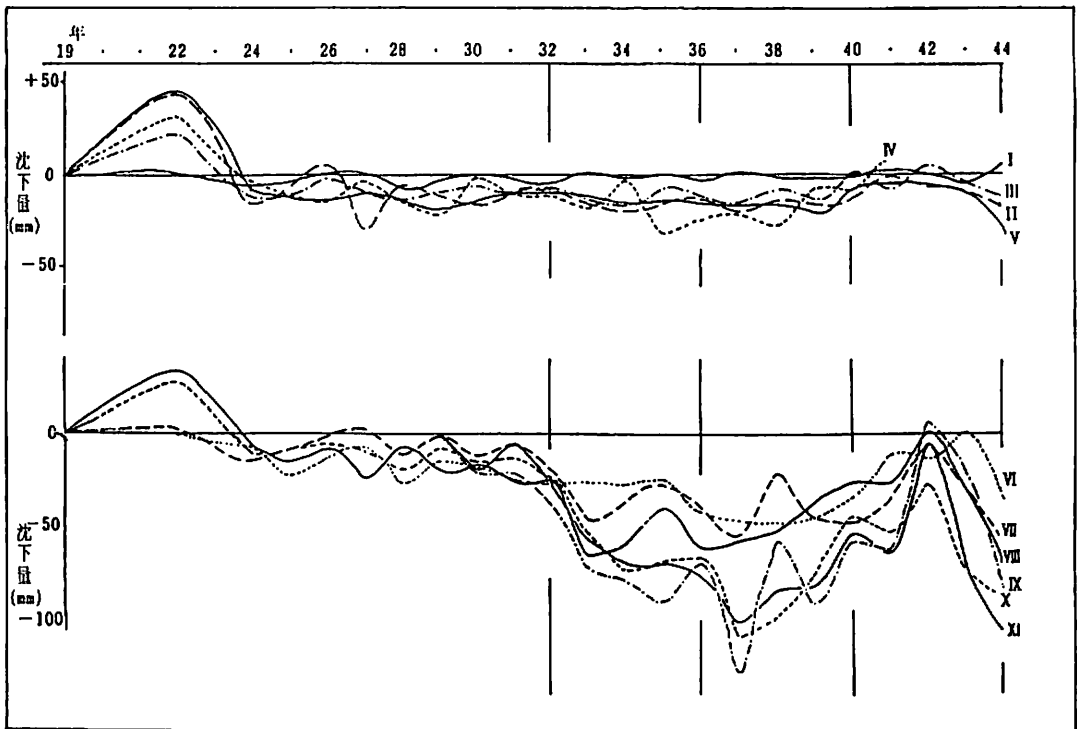


図-10 東京の地盤沈下観測井管底の年変動量(遠藤, 山田, 1970)

I 日比谷, II 隅田, III 深川公園, IV 吾嬬東, V 江東橋, VI 吾嬬, VII 江戸川, VIII 大島, IX 亀戸, X 南砂, XI 砂町

Fig.10 Yearly subsidence of reference pipes in Tokyo

* 57年8月18日, 毎日新聞による。

VI 要約と原因の考察

以上のべたことを要約すると、次のとおりである。

1) 東京、佐賀の例のように、1-2 cmの振幅で1-3年の周期変動は、地盤沈下の速度が減少した頃から顕著になる。

2) 東京、新潟の例のように、地表のバルス現象は、深層部の変動の反映である。新潟では、揚水-注入層よりも以深の変動である。

3) バルス現象は、いずれも地盤沈下地域でよくみとめられるが、この地域では測量が毎年行われており、バルス現象の確認は、短い測程期間と関係がある。

以上のことを総合して、新潟平野にみられる地盤のバルス現象の原因を考察すると次のとおりである。

1) 新潟では、かんがい期に表層地盤がふくれあがり、非かんがい期になると収縮がみられるが、バルスは、地盤の表層の変動の反映とは考えられない。

2) 潮汐、気圧、地下水位の変化との相関は、現状ではみとめられない。

3) 周期も1-3年と地域によって異なり、また、隆起を示さない地区もある。

以上のことから、現状としては、バルス現象は人為的現象とは関係なく、自然的変動の一種と考えざるを得ない。しかし、地盤(地殻)の自然的変動は、従来1-3mm/年とされており、バルスの変動は、その10倍近いオーダーを示す。また、バルス変動域も、年によってはあまりにも局所的であり、この点に疑問がのこされている。また、水準測量の誤差についても疑問が残る。

今後は、他地域の例も含めて、地盤沈下地域以外にもみとめられる現象なのか、地盤沈下地域特有の運動なのかを検討して行きたい。

文 献

- 青木 滋(1971):地盤沈下,地下水,揚水量の相関について,南関東地盤沈下調査報告書,108-115.
———(1977):新潟平野の地盤沈下,土と基礎,25,6,21-28.
———(1982):新潟ゼロメートル地帯,文部省科学研究費自然災害特別研究成果,NaA-56-6,ゼロメートル地帯の被災と災害対策の研究,(代表者,松沢 勲),53-59.
壇原 毅(1976):大地を測る,出光書店,1-241.
遠藤 毅・山田信幸(1970):下町低地における洪積層表面の変動,都土木技研報告,46,37-53.
北陸農政局信濃川水系農業水利調査事務所(1981):新潟平野の地盤沈下,1-237.
———(1982):新潟地盤沈下調査地域水準測量成果表,1-107.
垣見俊弘(1979):川崎隆起-地下水問題を中心に-地震予知連絡会10年の歩み,国土地理院,88-109.
笠原慶一・山田重平・安藤雅孝(1973):南関東の地殻変動-展望と作業仮説,東大地震研,関東大地震50周年論文集,103-116.
MAYUGA.M.N.(1970):Geology and development of California's giant-Wilmington oil field, American Assoc.Petroleum Geologists, Memoir, 14, 158-184.
MIYABE.N.(1966):Notes on the vertical deformation of ground surface in the central part of the city of Tokyo II, Report Tokyo Inst, Civil Engineering, 43, 1-7.
榎井 久・樋口茂生・原 雄・古野邦雄(1975):船橋天然ガス田の水頭回復と地盤上昇について,(1972年2月-4月)千葉県公害研報告,3,115-119.
———(1980):地盤上昇現象について,杉山隆二,早川正己,星野通平編,地震,東海大出版会,259-270.
大島恒彦(1982):佐賀ゼロメートル地帯,文部省科学研究費自然災害特別研究成果,NaA-56-6,ゼロメートル地帯の被災と災害対策の研究,(代表者,松沢 勲),63-73.
柴田 徹(1982):大阪ゼロメートル地帯,同上,45-52.
東京都土木技術研究所(1981):昭和56年地盤沈下調査報告,1-43.