多摩川下流域の地盤隆起と微小地震観測　－関係機関による研究の概要の紹介とともに－

著者	佐藤 春夫, 浜田 和郎
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	20
ページ	1-32
発行年	1975-10-30
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002736/

550.24:550.34 (521.2)

多摩川下流域の地盤隆起と微小地震観測

－関係機関による研究の概要の紹介とともに－

佐藤春夫・浜田和郎
国立防災科学技術センター第2研究部

On Crustral Upheaval Around the Lower Reaches of the Tamagawa River and Micro-Earthquake Observation
–With a brief summary of researches by related organizations–

By
H. Sato and K. Hamada
National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

On December 5, 1974, at the meeting of the Coordinating Comittee for Earthquake Prediction the Geographical Survey Institute reported that the ground around the lower reaches of the Tamagawa River (Kawasaki area) has risen at the rate of about 1 cm/year since four years ago.

Since then, vigorous efforts in geophysical research of this district have been exerted by government and municipal agencies and universities for getting the real reason of such upheaval phenomena with a viewpoint of earthquake prediction. Levellings and triangulations were carried out by the Geographical Survey Institute and Kawasaki City, observations of groundwater level by Kawasaki City, Geological Survey and University of Tokyo, geochemical investigations of groundwater by University of Tokyo and micro-earthquake observations by National Research Center for Disaster Prevention (N.R.C.D.P.), Earthquake Research Institute, Japan Meteorological Agency and several universities.

Results of these researches up to May, 1975, together with the micro-earthquake observation by N.R.C.D.P., are summarized in the present paper.

1. 序

昭和49年12月5日の地震予知連絡会において，国土地理院から，「水準測量の結果，多摩川下流地域において，1971年以来年平均で大きい所で約1cm 位の地盤の上昇が続い

ている．」と，いう趣旨の報告があった．このような報告があったので，東京観測を担当している国立防災科学技術センターでは，川崎市附近の微小地震観測を開始した．地震予知連絡会長は，当市が人口１００万を超す密集地であり，石油タンクその他の危険物を多くかかえる工業地帯であることも考慮して，不正確な情報による民心の動揺をさける必要もあり，１２月２６日，次のような趣旨の談話を発表した．「１９７１年以来，神奈川県川崎市の多摩川下流域を中心に，大きい所で年間１cm程度地盤が隆起しつつあることが認められる．これが地震と結びつくか否かを明らかにするため，各種の観測を集約的に行う必要がある．仮に，この隆起が地震に結びつくとしても，マグニチュードにして５ないし６程度であろう」（資料１）[1]

この後，後節に述べるように，関係各機関によって各種の観測が精力的に行われはじめた．この隆起に関しては，関係機関によるすべての観測調査の資料が地震予知連絡会に集められて，会合のたびに検討がなされた．その結果は地震予知連絡会会報に収録されているが，その概要を明らかにする整理されたものはいまだ作られていない．そのため，ここに多摩川下流域の地盤隆起の概要を知るための資料集を作成する．以下において，この小稿では当国立防災科学技術センターで行っている微小地震観測の結果を含めた隆起に関する研究について紹介する．

まず，多摩川下流地域の地殻活動を考えるにあたって，2．では，その地質及び過去の工業用水くみ上げによる地盤沈下の歴史を述べ，3．では，多摩川下流域附近で起きた過去の地震について述べる．4．では，水準測量の結果から地盤隆起がいかなるものかを示し，また三角測量による水平歪について述べる．5．では地下水位の異常と思われる急上昇及びその揚水量との関係について述べ，6．では，地下水の化学分析の結果及びラドン・トリチウム濃度について述べる．7．では，地震活動について国立防災科学技術センターの観測から報告する．8．では，今までの観測からの総括及び今後の観測研究計画について述べる．以下述べる資料の多くは，川崎市の資料及び地震予知連絡会に提出された資料に基いて作成したものである．

2．地質及び過去の地盤沈下

現在，地盤隆起を起している多摩川下流地域とは，国鉄川崎駅附近を中心とする半径５km位の地域をさす（図－１）[9]．ここは，多摩川の河口附近にあたる．

ここ川崎の地形は[2]，西は多摩川に沿って上流となり，丘陵地帯が発達していて，左岸（東京側）は武蔵野台地，右岸（川崎側）は多摩丘陵となっている．東は多摩川河口であり扇島等の埋立地をはさんで東京湾に面している．地質を考えると，川崎市の地下には，特に鮮新世（第三紀）の泥岩（土丹と呼ばれる青灰色のもろい泥岩で代表される）が広く分布し，これの上を第四紀層が不整合でおおっている．この土丹層は，千鳥町附近で深度８０m位，

川崎駅あたりで４０ｍ位，更に多摩川に沿って上流に向うほど浅くなり，西部丘陵地帯では露出している所もある．この上には，第四紀のレキ・砂・粘土層が分布するが，これらの層厚・分布はかなり不規則である．この地域の第三紀層と第四紀層の境界面深度は図－２[4]に示すほぼ直交する二つの線分ＡＢ・ＣＤに沿っての断面図で代表される．図－３にＡＢ・ＣＤに沿う断面図[4]を示す．また，第三紀層の基底面を考えると国鉄川崎駅附近から北に向かって沈降の軸が通っている．これを図－４[5]に示す．新第三紀層には断層が発達しているが，現在までの調査研究では第四紀層に影響を与える活断層は隆起附近では見出されていない．

自然の与えた環境は以上のようなものであるが，この地域は次に述べるように，人間の与えた影響が非常に大きかった所でもある．多摩川下流地域は，過去数十年にわたって地盤沈下に悩まされてきた地域である．大正末期頃から，臨海地域に工場が進出したため，工業の発達にしたがって使用する工業用水も飛躍的に増大した．しかし，その大部分を地下水に依存したため，結果として，大量の揚水は地下水位の低下と地盤沈下とをもたらした．図－５に水準測量による市内数ケ所での地盤沈下の経年変化[4]を示す．図－６[6]には，水準点No.２８－１（隆起の中心附近；東京都大田区六郷小学校の近く）の水準の経年変化を示す．これらの図から，時代と共に如何に地盤が沈下したかを見ることが出来る．川崎市では，工業用水道を拡張することにより，地下水への依存を極力少なくするように努めたため，昭和４１年頃から沈下は鈍化しはじめた．沈下量の多い浮島地区は，埋立地のため，自然の圧密沈下も含まれると思われる[4]．隆起が観測されるまでは，沈下の模様はこのように考えられてきた．

今後の多摩川下流地域の地盤隆起を考えるにあたっては，これらの事を背景として，念頭に置かねばならない．

3．過去の地震活動

関東地方は，地震活動の活発な所であり，歴史的に見てマグニチュード６位の直下型地震が何度も発生している地域である．過去の歴史的な被害地震については，理科年表[7]に記述があるので，これを表－１に示す．ここでは東経１３９.２度～１４０.０度，北緯３５.３度～３５.７度の地域について表にした．特に，川崎附近で発生した大きな被害地震は，１６４９年，１８１２年，１９２６年（羽田沖）である。また，１９２６年以降の地震について震央分布図（図－７）が気象庁の報告[8]としてある．この地域の地震によるエネルギー放出のグラフを図－８[8]に示す．

4．地盤隆起（水準測量と三角測量）

ここでは，昭和４９年１２月５日の地震予知連絡会に報告されたものに，その後の川崎市の資料をも含めた国土地理院の水準測量の結果[9]を述べる．この多摩川下流地域の隆起は図

－9に示すPath－Ⅰ，Path－Ⅱ の水準測量によって，顕著にあらわれた．Path－Ⅰは国道15号線に沿っており，Path－Ⅱはほぼ多摩川に沿っている．以下のデータは千代田区にある国土地理院の水準原点，川崎市緑ケ丘霊園にある川崎市の水準基点を不動点として示してある．図－10 にはPath－Ⅰに沿っての水準点の上下変動を示し，図－11 にはPath－Ⅱに沿っての上下変動を示す．これらのグラフから隆起の概要を知る事が出来る．国土地理院による一等水準測量[10]の誤差は，測量の全距離をSkm とすると，最大 $2.5\sqrt{S}$ mm であり，Path－ⅠについてはS≒30 km，Path－ⅡについてはS≒15 km とすると，誤差はそれぞれ13.7 mm，9.7 mm である．また，いつ頃から隆起がはじまったかは，各水準点の上下変動の経年変化を見ればわかる．その例として図－6に隆起の中心に近い水準点No. 28－1での水準の経年変化を示した．この場所では1970年頃から，沈降から隆起に転じている．この地点は，すでに述べたようにかって地盤沈下の激しかった所であるが，1923年の関東大地震の時以外には，上昇がこのように連続して続いた時期というものはない．1923年以前には上昇があった可能性もあるが，測量がひんぱんに行われていなかったため不明である．この測量の誤差が1 cm 内外のためにはっきりした数値はわからないが，この隆起の中心は川崎駅附近で，大きい所では年間1 cm 程度の上昇を続けている．地盤沈下のあった地域では，その上下変動を詳しく調べた例がいくつかあり，沈下していた所が地下水のくみ上げを規制又は禁止した後に隆起に転じたという例は，大阪と千葉などで報告されているが，4年5年と連続して上昇しているという例は無いようである．図－1に上記2測線のデータから国土地理院が作った多摩川下流地域の地盤隆起のコンタを示す[9]．

このような地盤隆起が必ずしも地震に結びつくものではないが，地殻変動と地震との関連[11]として次のような事が，考えられている．過去の例としては，1964年の新潟地震の際に，事前に地殻変動の異常が顕著にあらわれた事が知られている．新潟では，天然ガス採取にともなう地盤沈下の問題があったために新潟附近の水準測量が当時ひんぱんに行われた．1955年頃から震央から半径数十km にわたる地域で，各水準点の上下変動の変化が急変し，その異常な動きが停滞した頃に地震が発生した．このように地震に先行する地殻変動の発生は過去において何度か観測された事がある．過去の地震と地殻変動とから，経験的に檀原の次の式が知られている．地殻変動が観測された領域を円と考えた時の半径をRkm とし，Mを地震のマグニチュードとすると次のようになる．

$$M = 1.96 \log R + 4.45$$

多摩川下流地域の地盤隆起が地震の前兆としての地殻変動だと仮定すると，R≒5 km として大きさはM≒5.8と予想される．

この隆起について考える時，地下のどの深さの地殻が隆起に寄与しているのかを知る事は重要である．これには川崎市の地盤沈下観測井による観測が非常に役に立っている．川崎市

では地盤沈下の観測を行う時に，表層地盤の収縮を測定するため，第三紀層まで鉄管を打ち込み，その抜け上がりを測定している．これと，水準測量の結果と組み合わせて考える事により，どの深さの層が隆起しているかを知ることが出来る．図－１２に観測井の位置を，図－１３に各観測井における表層（第四紀）の厚さと土丹層（第三紀）の深さの経年変化を示す[12]．図－１３に見るごとく，表層の第四紀層は収縮しているが，収縮がほぼ止まったにもかかわらず，第三紀土丹層は１９６５年頃から上昇に転じている．これらの事から，主に第三紀土丹層以深の地殻が上昇していると考えられる．

地殻変動を調べるのには，以上に述べたような上下変動を測定する他に，水平歪の測定も重要である．しかし，関東大地震直後の１９２５年に行われた三角測量の時の三角点は，戦災及びその後の建築工事の際に失われたものが多く，又高層建築物の増加により見通しも悪くなり測量には非常に悪い条件が重なっている．このため，今年に入ってから国土地理院によって行われた測量では，隆起の中心と考えられる地域をかこむ形には三角点は残っておらず，その北西部にのみ三角網が存在し，これが唯一の面積歪を知らせるものである．これを，図－１４に太線．太字で示す[9]．図―１４には，さらに１９６０～１９７５の間の測量から求めたせん断歪の変化を図示する[9]．この値は，１９７５年のジオディメータによる距離測量の結果から角度を出し，１９６０年の角度による測量結果との差から計算したものである．これによると，この地域にこの１５年間に蓄積された最大せん断歪の平均値は $1.5 \pm 0.8 \times 10^{-5}$ である．これは，応力解放状態からの変化を測定したわけではないため，この１５年間の有意な歪蓄積を指摘することも出来ないし，いわゆる地殻の限界ひずみ 1×10^{-4} と比較して議論するわけにもいかない．また，1×10^{-4} 以下でほとんどの地震が発生している事が力武[13]によって指摘されている事から，この数字から直ちに安全だという事も言えない．

５．地下水位の急上昇

この地域については，地下水位の変化が川崎市によって，以前から連続観測されている．工業用水道の拡張とともに地盤沈下は鈍化し，地下水位は上昇してきたと思われていたが，最近のデータによると特に１９７０年頃からそれ以前の上昇率を大幅に上回る上昇が見られる．東大理学部によってまとめられた資料[14]によると，水位上昇の大きな所は地盤隆起の中心に多い．これを図－１５に示す．水位変化の例として田島観測井の場合図－１６[14]に示す．

この水位上昇と揚水量との相関を，地質調査所でまとめたもの[15]を図－１７，図－１８に示す．揚水量の低下が地下水位の上昇をもたらしたように見えるが，すべてそれによるものとは断定できない．これらの事を考えると，水位の上昇している地下水がどのような性質・素性の地下水であるかを調べる必要がある．次節では，この地下水の化学分析の結果を示す．

6．地下水の化学分析

ここでは，東大理学部によって調査報告されたトリチウム濃度[14),16)]，^{14}C その他の測定結果[14)]について紹介する．トリチウム（半減期12・26年）は自然界では形成されていないことが知られており，地下水中にトリチウムが観測される時には，原水爆実験により形成されたトリチウムがまず雨水中に溶けその雨水が地下水になったものと解釈されている．図－19に，各井戸でのトリチウム濃度を示す[14),16)]．これは，1972年及び1975年の測定結果である．また，アイソトープ ^{14}C による年代測定の結果を図－20[14)]に示す．詳しい数値及び井戸の状況は表－2[14),16)]に示した．図－21[14)]には，cl^- 濃度と過マンガン酸カリウム消費量をパラメータとした地下水の分類を示す．古多摩川に沿って数値を見ると，多摩川の伏流水が降雨によって涵養されている現代の水（group－Ⅰ）と，数千年から1～2万年程度の古い水とから成っている事がわかる．この古い地下水は有機物を含んだ褐色の水（group－Ⅱ）と，塩素イオン濃度の高い水（group－Ⅲ）とに分れる．その地表での分布（図－22）は，大変特徴的で，第二京浜国道より上流側は古多摩川に沿って現代の水が分布し，それより下流側では塩分の濃い古い地下水が分布し，有機物の多い古い地下水は両者の両側に分布している．図－21の過マンガン酸カリウム消費量は有機物濃度のパラメータで，この古い地下水の有機物の起源は地質時代に地下水が形成された時に，同時に堆積した有機体であると考えられる．また，臨海部で良質の地下水をくみ上げている場合，塩素イオン濃度は，海水の浸入のパラメータと考えられているが，今の場合は水質が古い事からそうとは考えられない．考えられる一つの場合は，地層形成の時に堆積層中に残った海水で，もう一つの場合は深部の塩素イオン濃度の濃い地下水の上昇・混入である．前者の見解もあるが図－23[17)]に示すように，川崎附近では地下水中の塩素イオン濃度が地層の分布と斜交して高くなっていることから，地質時代以来岩石の割れ目を通って深部の塩素イオン濃度の高い地下水が上方に浸透してきていると思われるので，第二京浜国道から下流の地下水もこの地下深部の地下水が上昇混入している可能性がある．なお，第二京浜国道附近を境として上流と下流で水質が著しく異なる原因については現在不明であるが，（1）旧河道沿いに流下して来た現在の水がまだここまで達していないか，これより下流は旧河道の孔隙率が小さく，流下しにくいという考え方と，（2）下流部分は地下より押し上げられているために上流からの現在の水が下流には来ないのではないか，という二つの見方がある．両者のいずれであるかを明らかにする事が今日の課題である．

また，地震の先行現象として，地下水中のラドン濃度の急増が観測されたとの報告が過去において2，3の地震について知られている．このことから，多摩川下流地域において地下水中のラドン濃度の測定が東大理学部によって1975年2月より数か所で開始されている[14)]観測結果を図－24に，観測井を図－25に示すが，目だった変化はない．

7. 微小地震観測

川崎に現らず，関東平野には厚い堆積層が存在し，さらにその上に複雑に発達した交通網及び工場等のノイズ源が存在するため，高感度の地震観測は実施が難しい．しかし，1971年からは，地震研究所の微小地震観測網からのデータが蓄積しつつあり，震源分布についても，ある程度わかるようになってきた．観測期間がまだ短いために長期的な事については言えないが，地震活動の一つの目安を与えてはいるだろう．図－26に示す断面ABに沿って長さ200 km，幅30kmの震央分布図を作成したものを図－27，図－28に示す．これは津村による深度別震央分布図[18),19)]から作成したものである．この図から1971~1972年と1974年には川崎市街地（ほぼ現在の隆起の中心）では，30kmより浅い地震はほとんど発生していない事がわかる．隆起のひろがりがせいぜい10km位であることを考えると，このあまり地震のない浅い所を注意して見なければいけない．

国立防災科学技術センターは多摩川下流地域・川崎地区において，1974年12月中旬から地震観測を開始した．初めの観測はとりあえず川崎市役所の地下室で行われた．その後川崎地区での広域にわたるバックグラウンドノイズの調査と高感度地震観測のための既存の井戸の調査の結果，現在では井戸1か所．地上2か所の計3か所で観測が行われているこれらの観測状況を表－3に示す．我々の3月末日迄の地震観測結果[20),21)]では，S－P時間が5 sec以内（即ち，震源位置が観測点から約35 km 以内）の地震は5個であり，このうち他の観測点の記録との対応からこの地域の地震として確かなものは3個である．当センターの観測点と地震研究所の観測点（臨時観測点，既存の観測点を含む）から決めたこの3個の地震の震央を図－29に示す．震源の深さは約30 km，マグニチュードは大きく見積って約3である．地震研究所の観測網のみで決めた場合，同地震の震源は北西に3～4 km移動し，深さにして10 kmほど深くなる．図－30には各観測点の日別地震数を，図－31にはS－P時間分布を示す．但しS－P時間が30秒以上のものは省略してある．今後もこの地区の地震活動の変化を日別地震数とS－P時間分布を用いて監視していくつもりであるが，4月末日迄のところは特に指摘されるべき事柄はない．図－32は当センターの臨時観測網で捕える事の出来た地震で，東大地震研究所の観測網で震源の決められたものを白丸で示してある．但し，震源決定には当センターの観測データは使用していない．これらの震源のマグニチュードは2～4と見積られる．上記のデータで判断する限り現在多摩川下流地域での震源分布は，1971年～1972年，1974年当時と特に変化しているとは考えがたい．また，30 km以浅の地震の存在も確かめられてはいない．

図－32に示してある我々の観測した地震のうちPとS相の両方が読み取れるものだけを取り出して地震波速度比Vp／Vs を調べ，結果を図－33に示した．個々のデータはたいへんばらついていて標準偏差で±0.1以上である。このばらつきはS波の読み取り精度と計

算された発震時の誤差から来るものと思われる．図には各月の平均値と標準偏差も示してある．得られたVp／Vsのばらつきを超えて有意な時間的変化を現在指摘する事が出来ない．残念ながら今のままで自然地震を使う限り有意なVp／Vsの変化をとらえる事は非常に困難であり，人工地震のデータを併用するか，または別の方法を開発しなければならない．なお，図－34に国立防災科学技術センター及び京大，名大，東北大，東大地震研究所の臨時微小地震観測網の配置を示す．

8．総括及び今後の観測計画

1975年5月までの当地域での調査研究の主な結果をまとめて示すと，表－4のようになる．1974年12月初めには，項目1の水準測量の結果だけが我々の手元にあるデータであった．1974年12月26日にはすでに序で述べたように地震予知連絡会長により情報の説明が一般になされた．関係機関による同地域の種々の調査研究は1974年12月初旬より着手されたが，準備が整い総合的に行われるようはなったのは1975年に入ってからである．項目2～5はその結果である．これまでのところ，この隆起現象の原因と地震発生との関連について科学的に確実な事はわかっていない．

観測・研究の着手とともに，地下水位の異常に気づき（資料2）[22]，その解明に力がそそがれた（資料3）[22]．その結果，東横線より下流部のこの1～2年の異常隆起と地下水位の急激な上昇，この地域での地下水の揚水量の激減との間に相関のある事がわかった．そして，この1～2年隆起の著しい所と地下水位の急激な回復と関係があるように思われる（図－35）[23]しかし，大田区の方まで含めた広域的な隆起や，基盤（新第三紀層）の隆起などの説明が出来ない．また，第二京浜国道より下流に見られる古い地下水の上昇がどのような原因によるのかも不明である．それ故，精密な観測を引きつづき集中的に行い，隆起と地下水位上昇の原因等の解明に努めようというのが地震予知連絡会の考え方である．

今後の方針は，関連各機関とも引き続き調査研究を行い，地震予知の立場から監視を続けて行く事である．そのため，従来の諸観測の他に新たに行う主なものとしては，地質調査所が当センターや大学などの協力を得て，1975年度中に2回の人工地震を用いた地震波速度変化を調べる計画と，地質構造の調査と深部の地下水の挙動を観測するために深さ1000m程度の観測井を川崎球場裏に現在作っている．国土地理院は1975年度中に水準測量と精密歪測量を行う．

国立防災科学技術センターは，従来の地震観測の継続に加えて新たに深さ600mの観測井を川崎市平間浄水場構内に作り，微小地震・極微小地震の観測を行い，テレメータリングによる監視体制を1975年9月迄に作るべく工事を現在進めている．

あとがき

国立防災科学技術センターで行っている川崎の臨時地震観測は，浜田和郎，山水史生，塚原弘昭，石田瑞穂，佐藤春夫及び笠原敬司が担当している．また，平間の観測井の作井は，鈴木宏芳と高橋博が協力し，テレメタリング装置の製作には，渡辺一郎，福井隆文の協力を得ている．なお，岩槻観測井による微小地震観測は川崎附近の地震活動の把握に強力なバックアップとなり，これは高橋末雄，伊藤健治が主として担当している．地質調査所による人工地震の観測には，第二研究部の上記以外の研究員も参加している．この小稿については，高橋博部長をはじめ第二研究部の方々に討論して頂いた．

謝　辞

川崎における地震観測にあたっては川崎市役所の方々に多大なお世話になっている．特に，公害局の杉山孝志氏には，最初のノイズ測定の時以来何かと便宜をはかって頂いている．記して感謝の意を表します．また，地震計設置に協力して頂いた日本鉄道建設公団生田鉄道建設所，東芝柳町工場，帝国臓器製薬株式会社及び川崎市霊園事務所の方々に心から感謝の意を表します．また，川崎微小地震観測井の設置，作井に当り協力頂いた川崎市水道局と平間浄水場の方々に謝意を表します．

東京大学地震研究所の津村建四朗氏には，地震データの情報交換と有益な討論をして頂いた事をここに感謝いたします．

参　考　文　献

1）地震予知連絡会会報（1975）：14，148

2）表俊一郎，中島直吉（1974）：川崎市の震災予防に関する報告書．64．

3）太田裕，嶋悦三（1969）：川崎市の震災予防に関する基礎的調査報告書．14．

4）川崎市（　　）：川崎の地盤沈下．4，19．

5）地質調査所（1973）：後期新生代地質構造図　東京．附図1．

6）国土地理院（1974）：地震予知連絡会への報告．
国土地理院（1975）：地震予知連絡会会報，13，34．

7）理科年表（1975）：地148．

8）気象庁（1974）：地震予知連絡会への報告．
気象庁（1975）：地震予知連絡会会報，13，43．

9) 国土地理院（1975）：地震予知連絡会への報告.
国土地理院（1975）：地震予知連絡会会報，14，13.
10) 測地学会（1974）：測地学の概観. 119.
11) 測地学会（1974）：測地学の概観. 248.
12) 川崎市（1975）：川崎市資料.
13) 力武常次（1974）：*Tectonophysics*, 23, 299.
14) 東大理学部（1975）：地震予知連絡会への報告.
脇田宏（1975）：地震予知連絡会会報，14, 32.
15) 地質調査所（1975）：地震予知連絡会への報告.
地質調査所（1975）：地震予知連絡会会報，14, 26
16) 横浜市公害対策局（1973）：横浜市地盤沈下調査報告書
17) 東京及び川崎ガス田地質断面図（1956），（石和田原図）
18) 津村建四朗（1973）：関東地方の微小地震活動. 関東大地震50周年論文集，67.
19) 津村建四朗（1974）：地震予知連絡会への提出資料.
20) 浜田和郎，塚原弘昭，山水史生，佐藤春夫，笠原敬司，石田瑞穂（1975）：地震学会春季大会講演・予講集，60.
21) 国立防災科学技術センター（1975）：地震予知連絡会会報，14, 20.
22) 地震予知連絡会会報（1975）：14, 149
23) 川崎市（1975）：川崎市資料

（1975年8月6日 原稿受理）

資料－1

1974年12月26日，地震予知連絡会は，最近の多摩川下流域の地盤隆起現象に関して特別記者会見を行った．また1974年12月27日，萩原会長は地震予知研究推進連絡会議議長に下記の意見を具申した．

最近における多摩川下流地域の地盤隆起現象について

昨日，地震予知連絡会は，川崎市及びその周辺の地盤隆起についての見解を公表いたしました．国土地理院は，東京 ― 藤沢間の水準測量を毎年行っておりますが，これによると，1971年以来川崎市を中心として半径数キロの地域が，大きい所で年間1センチ程度隆起しつつあることが認められます．

しかし，地盤隆起の顕著な地域が，かって地下水くみ上げによる地盤沈下の著しかった地域と概ね一致することから考えて，地盤沈下現象との関連において生じたものではないかという疑いが持たれます．

微小地震の発生など他の地震前兆と思われる現象は，現在何も観測されておりません．なお，地盤の隆起が地震発生に結びつかなかった事例もあり，今回地盤隆起が測定されたということだけから，これが直ちに地震の起ることに結びつくと考えることはできません．

しかし，川崎地域が社会的に極めて重要な地域であることから，万が一を考慮し，今回の現象の実態をつかむために，関係各機関が協力して各種の観測を集約的に行うことが必要であると考えます．

この調査のためには，川崎市をはじめとして広く，東京都，神奈川県の地方公共団体，企業に協力を願うことが必要でありますが，そのためには，今回の地盤隆起の件について予め当連絡会の見解を公表しておくことが，かえって根もない流言が流され人心を不安に導かない方法であろうと考えた次第であります．

今後，各種の研究，観測が進み必要な資料が入手できおすと，社会に対しより正確な判断を伝えることができるものと思います．

また，仮に今回の隆起が地震に結びつくものとしても，隆起の生じた範囲から考えて，決して大地震ではなく，マグニチュードとして5ないし6であり，中心及びその周辺で震度5（強震）になる程度と思われます．

昭和49年12月27日

地震予知連絡会会長
萩 原 尊 礼

地震予知研究推進連絡会議議長
武 安 義 光 殿

資料－2

第２８回地震予知連絡会は１９７５年２月２７日建設共済会館で開かれた．多摩川下流域の隆起に関して以下統一見解がまとめられ，記者団に発表された．

「その後の調査によって多摩川下流域においては，地震活動に変化は見当らないが，地盤隆起と地下水の異常上昇との間には明瞭な相関関係があるように見える．

しかし，地下水位上昇が地震発生と関係ある地殻内の異常によって起されたものであるか，否かは現在まだ明らかでない．

そのため，今後は従来の諸観測に加えて，この水が地下深部から供給されたものか，地表から供給されたものかを判定するため好条件の井戸でラドン，トリチューム等の濃度を測定することが必要と考えられる．」

資料－3

第２９回地震予知連絡会は１９７５年５月６日建設共済会館で開かれた．多摩川下流域の隆起に関して以下の統一見解がまとめられ，記者団に発表された．

「多摩川下流域の地盤隆起現象については，地震にむすびつく前兆現象であるか，または，地下水揚水量減少の影響で生じたものであるか，その原因を速やかに解明するため関係各機関によって諸観測が実施されてきた．その結果今日まで明らかになったことは次の通りである．

(1) 最近２年間，東横線東部において急激に上昇した地下水位と地下揚水量の減少との間には明瞭な相関がある．

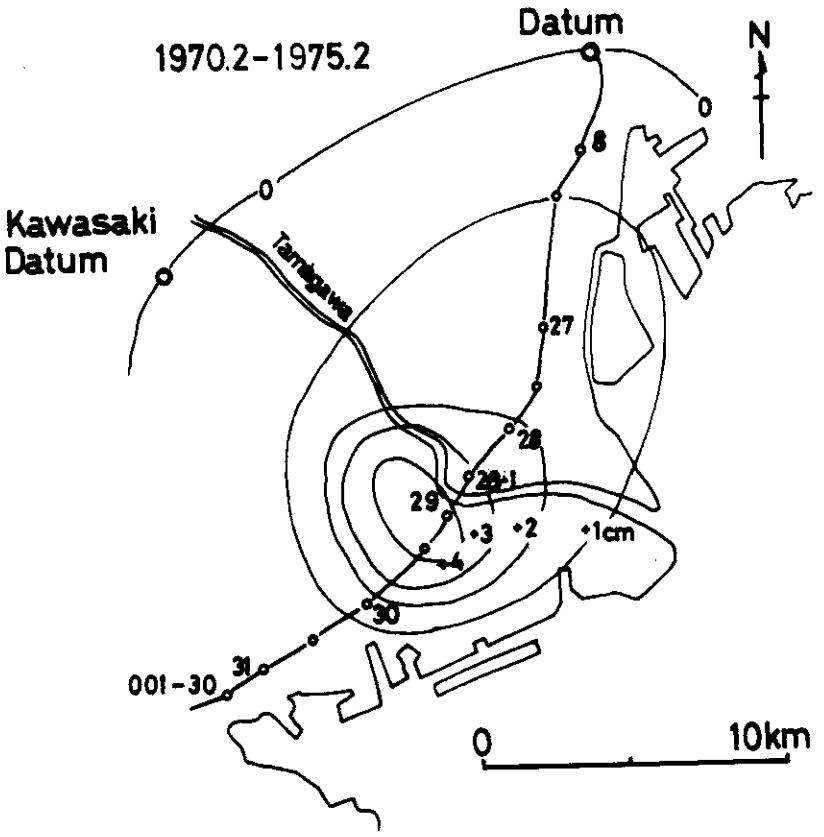
(2) 旧多摩川河道沿いの地下水層については，国道１号線より上流では，トリチウム濃度が高く ^{14}C 年代が若いが，それより下流では，トリチウム濃度が低く ^{14}C 年代が古い．

(3) 現在測定中のラドン濃度は変化が認められない．

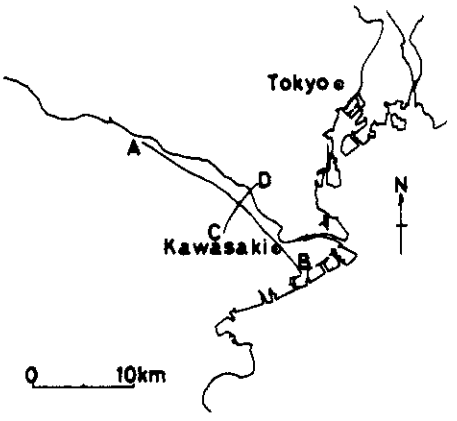
(4) 地盤隆起地域の三角網について最近，特に大きな水平歪の蓄積が生じたとは認められない．

(5) この地域については最近においても，顕著な浅発地震の発生は観測されていない．

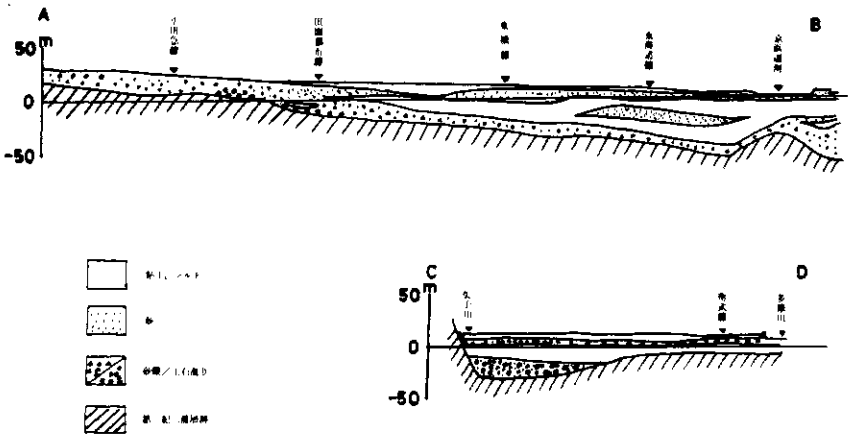
以上の諸事実をまとめて見ると，急激な局地的地盤隆起については，揚水量の減少と関連がある可能性が強い．しかし，多摩川下流域を含む全般的な地盤隆起については，なお引続き精密な調査を必要とするものもあり，今後も諸観測を集中的に行い，今後の経過を監視し現象解明に努める必要がある．」



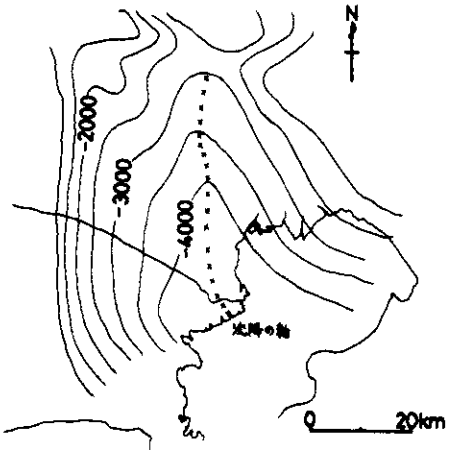
図－1　多摩川下流域隆起概要図（単位：*cm*）（国土地理院，1975）



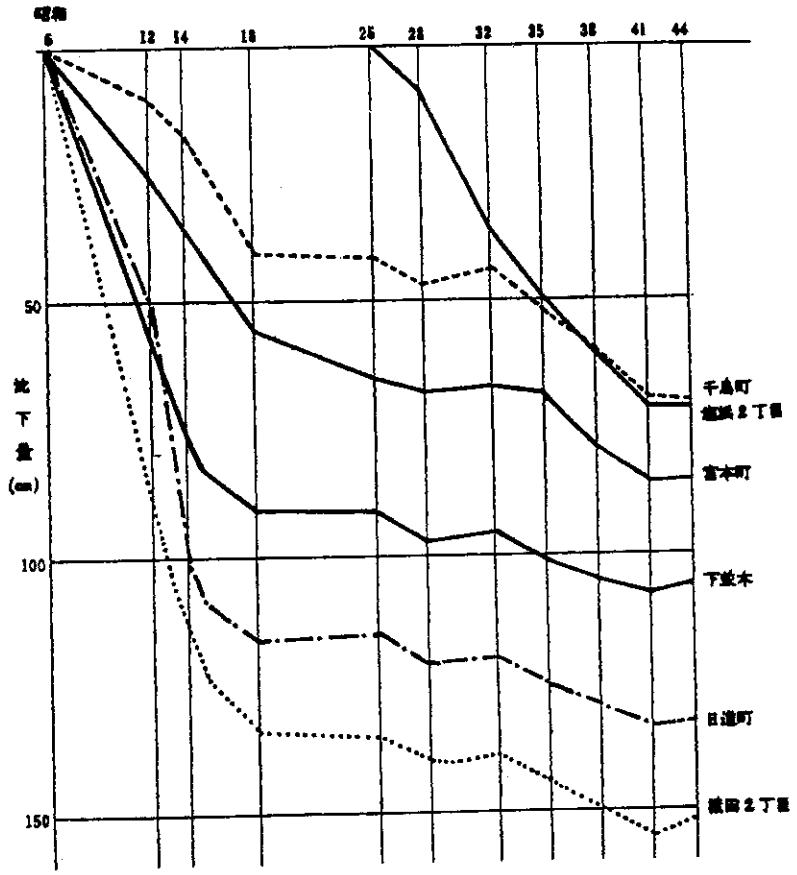
図－2



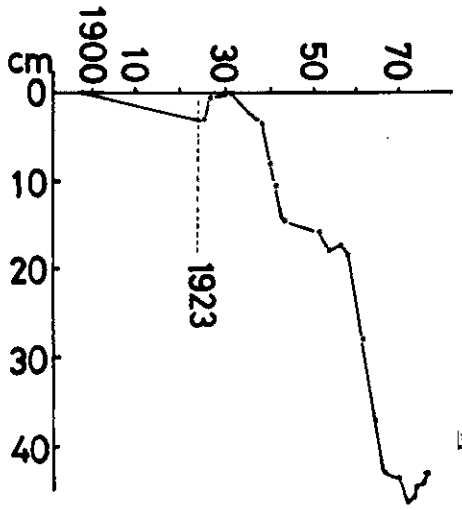
図－3　ＡＢ・ＣＤに沿う断面地質図（川崎市）



図－4　第三紀基底面深度図（地質調査所，1973）



図－5　地盤沈下経年変化図（川崎市）

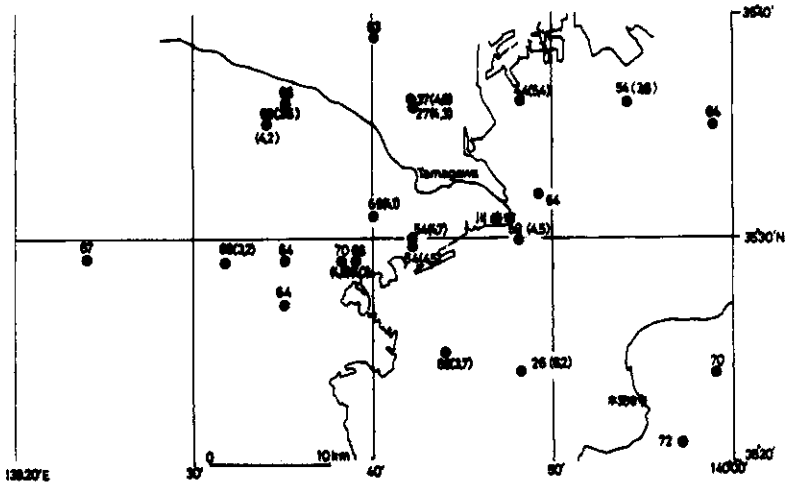


図－6　水準点No.28－1の上下変動図
（国土地理院，1974）

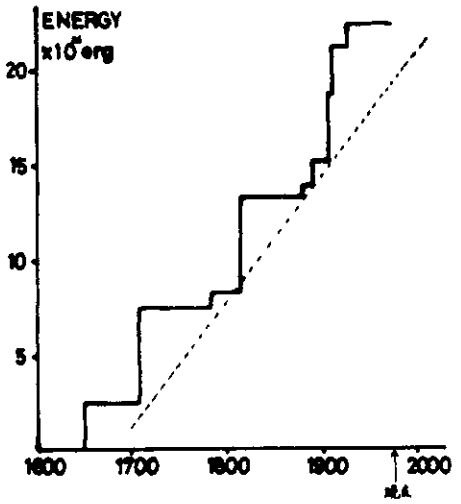
表－1　過去の被害地震（E　139.2°～140°　N　35.3°～35.7°）

	N	E	M	
878. 11. 1	35. 5	139. 3	7. 4	関東諸国；相模,武蔵でひどく，地陥り，家屋破壊
1615. 6. 26	35. 7	139. 7	6. 4	江戸；家屋破壊，死者多く，地割れ生ず
1649. 9. 1	35. 5	139. 6	6. 4	江戸，川崎；川崎駅の民家,140～150,寺７崩壊
1670. 7. 21	35. 4	139. 2	6. 4	相模；大住(現中)郡で民家つぶれること100余
1697. 11. 25	35. 3	139. 5	6. 9	相模武蔵；鶴岡八幡宮の鳥居倒れる，壊家あり
1706. 10. 21			6. 4	江戸；江戸城の石垣，塀多小破損
1784. 8. 29			6. 1	江戸；傾いた家，瓦落ちた家多し
1801. 5. 26	35. 3	140. 0	6. 5	上総；久留里城内櫓，塀多く破損，民家倒壊
1812. 12. 7	35. 4	139. 6	6. 6	武蔵，神奈川；神奈川，保土ケ谷，品川で激しく，家屋の倒壊多し
1880. 2. 22			5. 9	横浜；家屋破損，煙突倒壊
1894. 6. 20	35. 7	139. 9	7. 5	東京湾北部；東京の被害大，神田，本所，深川に全半壊多し
1924. 1. 15	35. 5	139. 2	7. 2	丹沢山塊；東京，神奈川，山梨，静岡に被害，特に神奈川県中南部

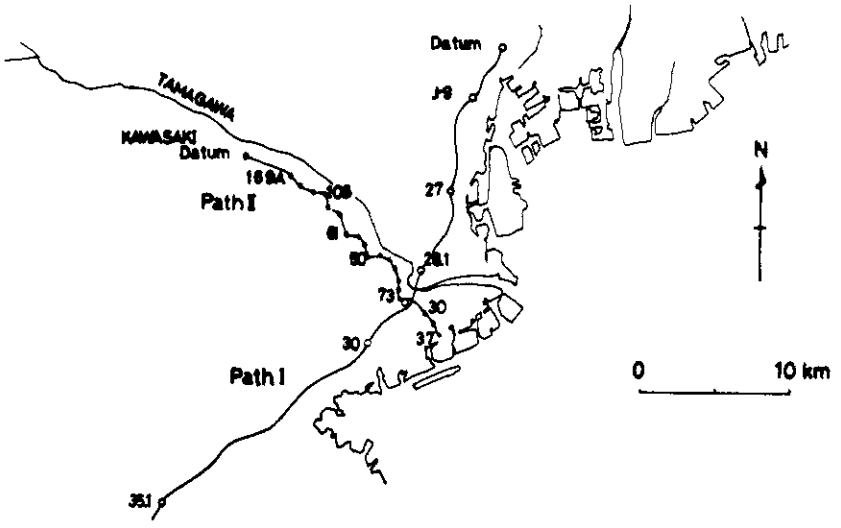
（理科年表．S．50年．地148より）



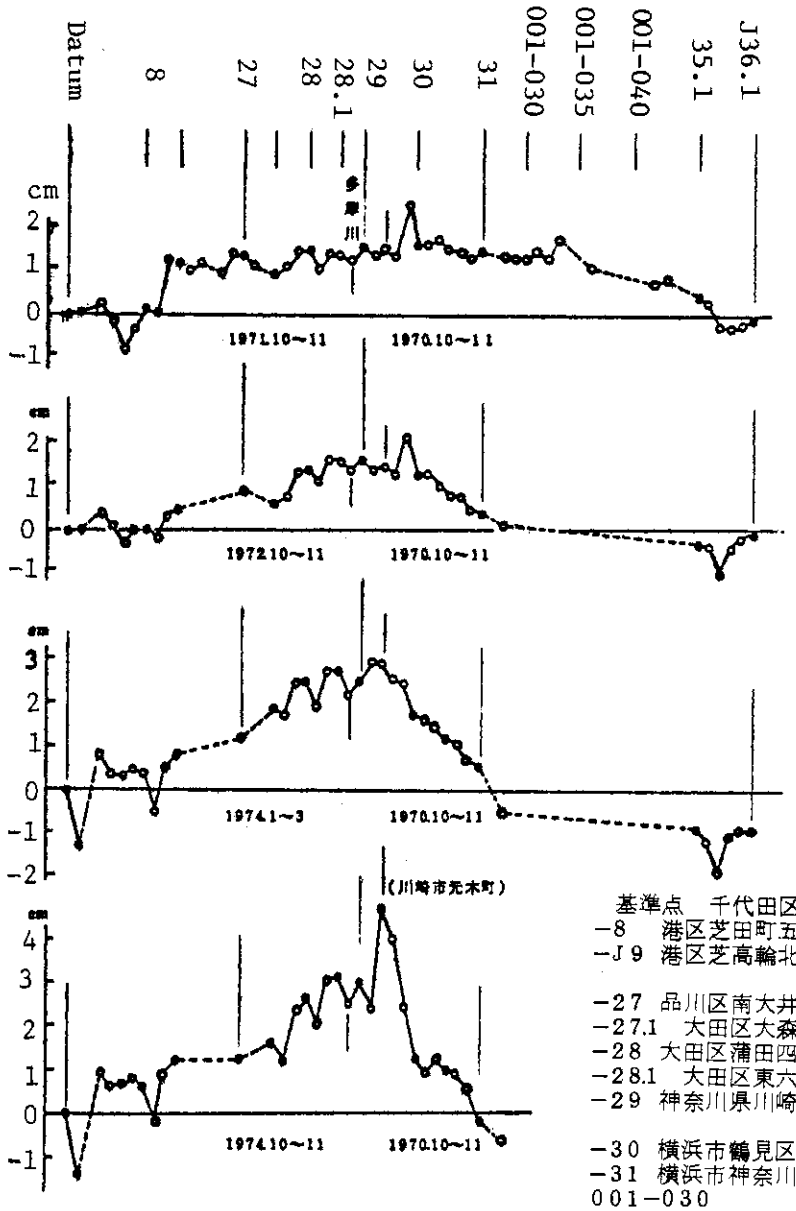
図－7　１９２６年以後現在までに発生した地震の震央分布図
（発生年（西暦），（M），（気象庁，1974）



図―8　多摩川下流地域の放出エネルギーの変動（気象庁，1974）



図―9　水準測量路線図



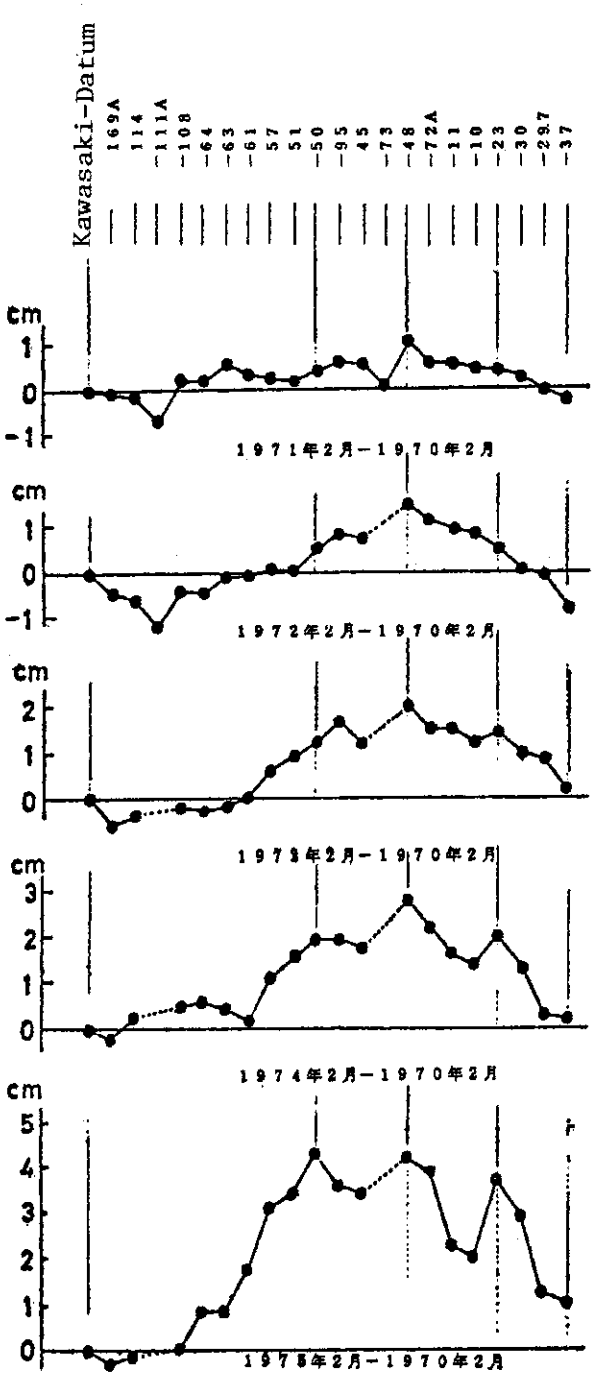
図－１０　国道１５号線沿上下変動図（国土地理院）

基準点　千代田区永田町１丁目１番
－8　港区芝田町五丁目２９番１６号先
－J９　港区芝高輪北町２８番地

－27　品川区南大井町５－１７番先
－27.1　大田区大森東２－１
－28　大田区蒲田四丁目４７－７番地先
－28.1　大田区東六郷四丁目４７－７番地先
－29　神奈川県川崎市砂子町１丁目

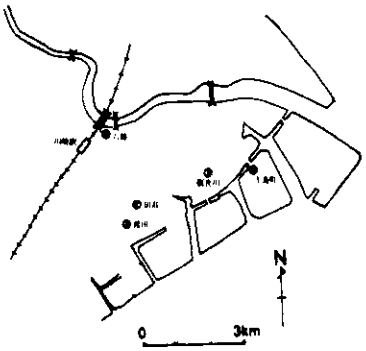
－30　横浜市鶴見区字生麦町
－31　横浜市神奈川区神奈川通り９丁目
001－030
　横浜市神奈川区松本町３の21の6
001－035
　横浜市神奈川区仏向町１０１３
001－040
　横浜市神奈川区名瀬町４４
35.1　横浜市戸塚区原宿町５０４番地先
－J36.1
　藤沢市大字大鋸字丸山９６９番地先

注　Jは交点

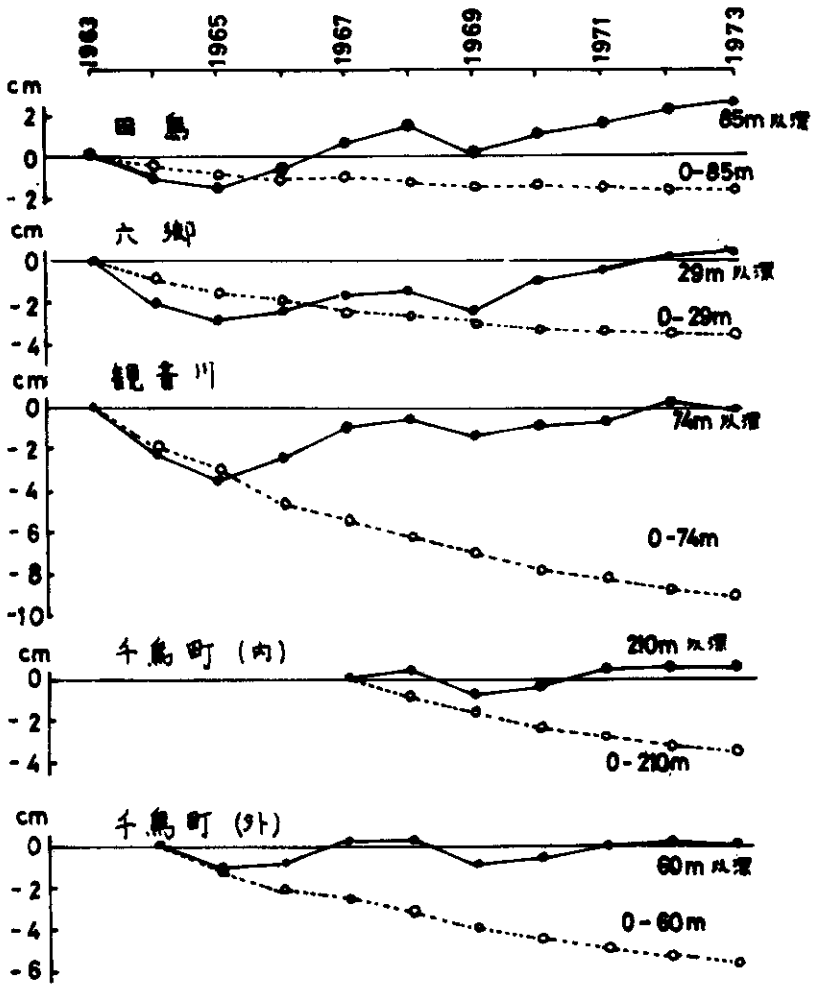


基準点	高津区下作延１３４４
１０	川崎区富士見２丁目１
１１	〃　宮本町７
２３	〃　銅管通１丁目２−１
３０	〃　浜町２丁目11−22
３７	〃　扇町１２
４５	幸　区戸手町１丁目４１
４８	〃　幸町１丁目９９４
５０	〃　下平間１８３
５１	〃　下平間４５先
５７	鹿島田５０
６１	中原区木月住吉町1910
６３	〃　市ノ坪４５
６４	〃　今井上町１９
７２	川崎区駅前本町１
７３	幸　区河原町１
９５	〃　小向東芝町１
１０８	中原区宮内６２６
１１１	〃　宮内２５６
１１４	〃　上小田中３８７
１６９	高津区北見方１２２
２９７	川崎区南渡田町１−１

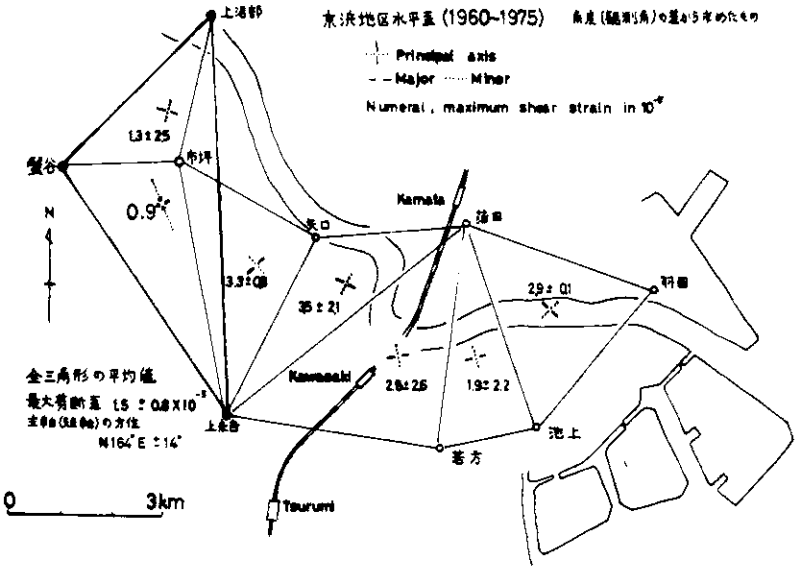
図－１１　多摩川流域沿上下変動図（国土地理院）



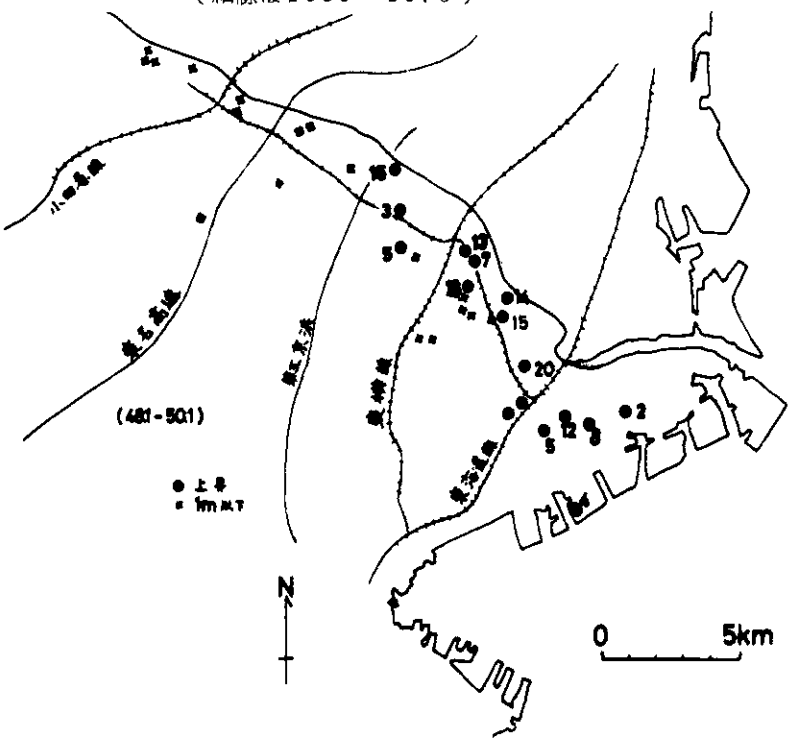
図－12　地下水位観測井



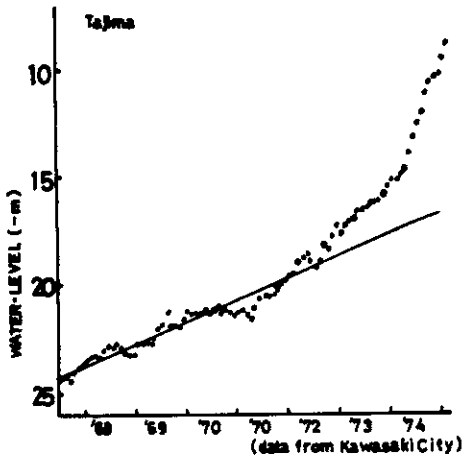
図－13　層別地盤変動（累計変動量）（川崎市，1975）



図－１４　京浜地区水平歪（国土地理院，１９７５）
（太線は１９２４~１９２６－１９７５）
（細線は１９６０－１９７５）



図－１５　地下水位変化（東大理，１９７５）



図—16　田島観測井の水位変化
（東大理，1975）

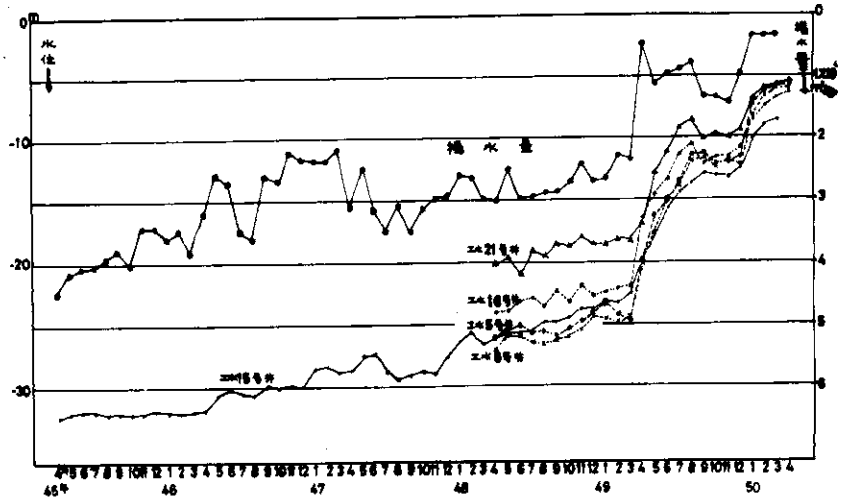
表—2　地下水の化学組成，^{3}H濃度，^{14}C年代，炭素同位体比（東大理，1975）

No.	Depth(strainer)	chemical composition (mg/l) Cl	COD ($KMnO_4$)	total iron	total hardness	alkalinity (BCG)	^{3}H conc.* (T. U.)	^{14}C age* (y)	$\delta^{14}C$* (% of modern C)	$\delta^{13}C$** (‰)
A	75.8	740	21	9.6	500	310	1.16±0.10	12080±580	−(22.2±1.6)	−8.9
B	91 (31-48, 63-89)	940	41	15	500		0.09±0.13			
C	(28-36, 45-55, 78-89)	610	19	9.4	340	470	0.50±0.16	11900±590	−(22.6±1.7)	−1.1
D	90 (66-72)	400	19	22	300	340	18.3±0.18	6240±180	−(46.0±1.1)	−8.0
U	72.5						1.10±0.15			
F	55 (34-44)	95	15	14	200		24.8±0.3			
N	120(30-115)	36	13	11	120	250	67.8±0.5	3990±670	−(60.9±4.9)	
Q	117(16-105)	41	30	4.2	104		30.7±0.2			
L	60(18-56)	26	5.1	3.6	100	90	60.2±0.6	Modern	+(108±6)	
T	37(15-22)						27.1±0.8			
M	19	19	1.1	0.05	80	80	36.5±0.8	Modern	+(112±8)	
O	120(36-100)	106	170	5.0	42		8.2±0.2			
H	100(36-100)	85	230	3.8	120		15.6±0.13			
P	150	43	210	3.6	100		0.28±0.16	25100±2500	−(4.42±1.18)	
R	80	6.4	3.8	0.44	76		1.16±0.15			
G	150(22-131)	3.9	10	5.0	130					

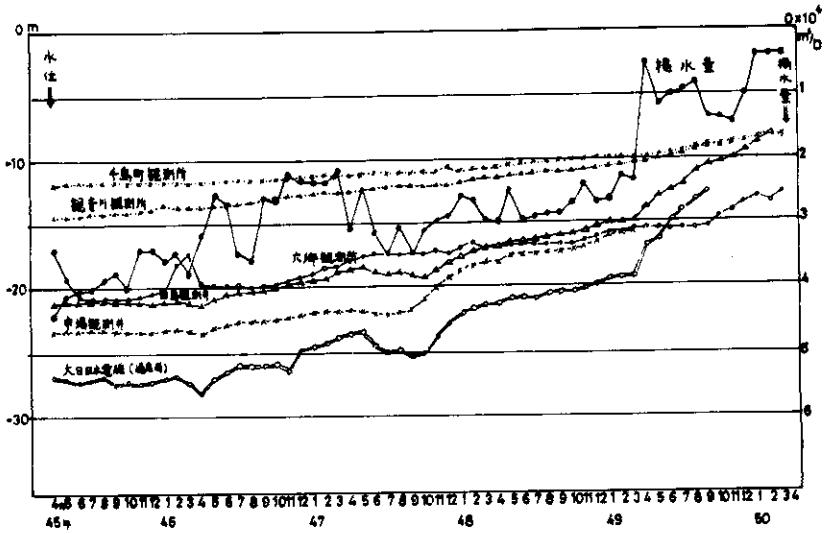
☆学習院大学　☆☆岡山大学温泉研究所　（ITU＝$^{3}H/^{1}H\times10^{-8}$）

＊　Gakushuin Univ

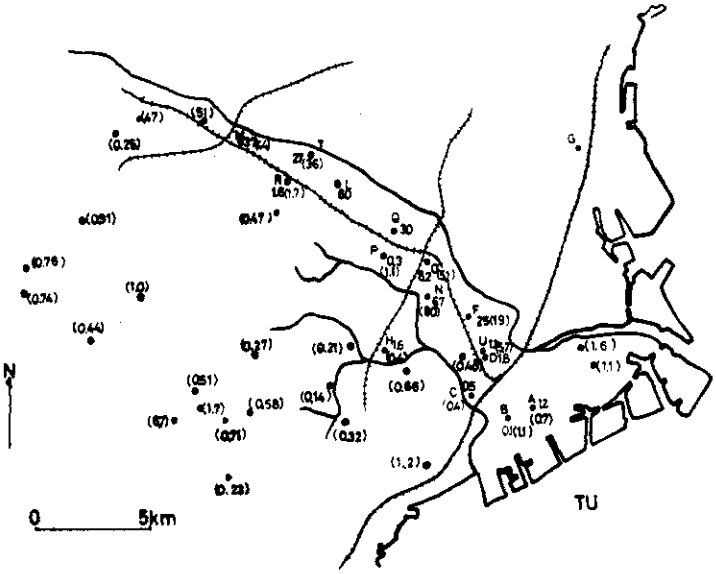
＊＊ Institute for Thermal Spring Research, Okayama Univ.



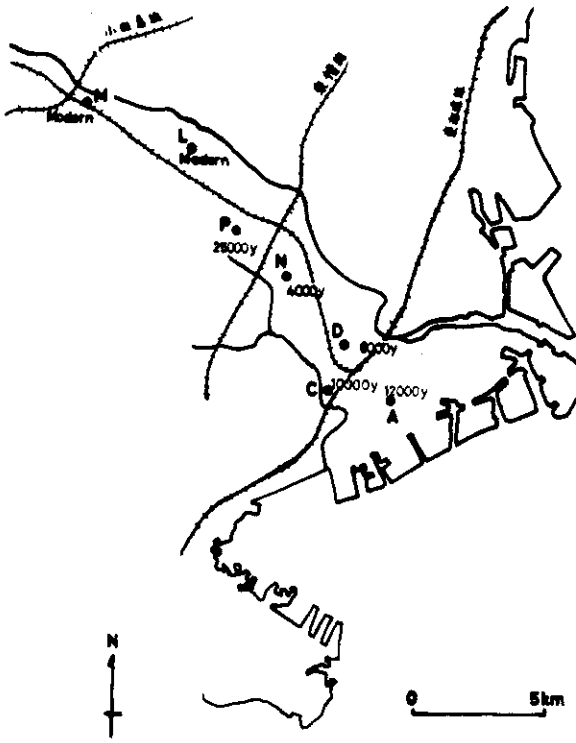
図－17　揚水量（東横線以東）と工水井の水位変動
（地質調査所，川崎市資料，1975）



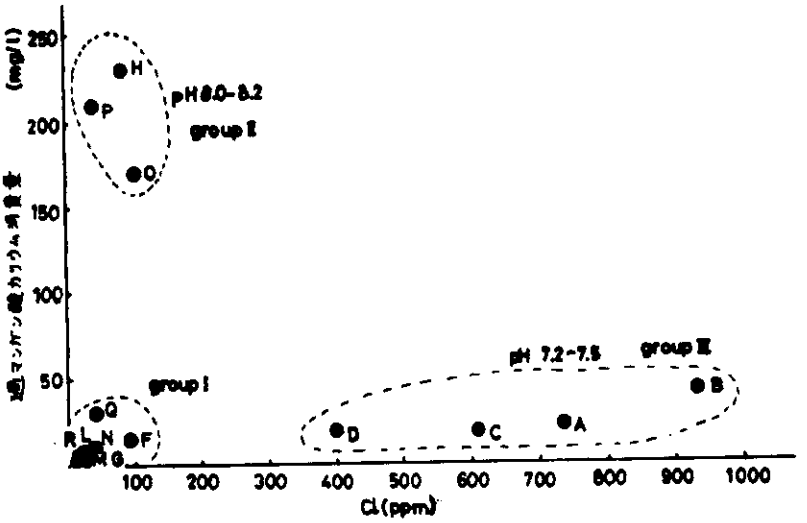
図－18　広域的に見た地下水位の変動と揚水量（東横線以東）
（地質調査所，川崎市資料，1975）



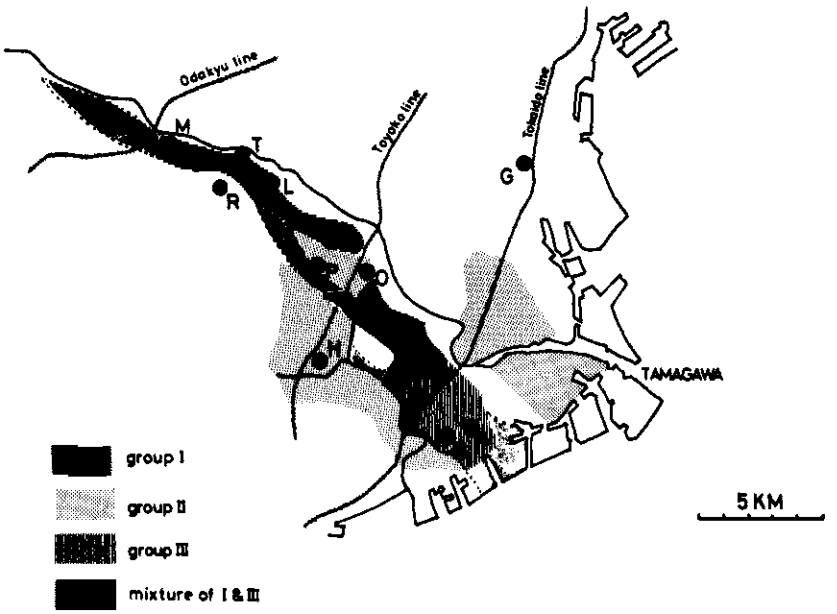
図－19　トリチウム濃度（単位ＴＵ）１９７５年，カッコ内は１９７２年（東大理　学習院大理，１９７５）



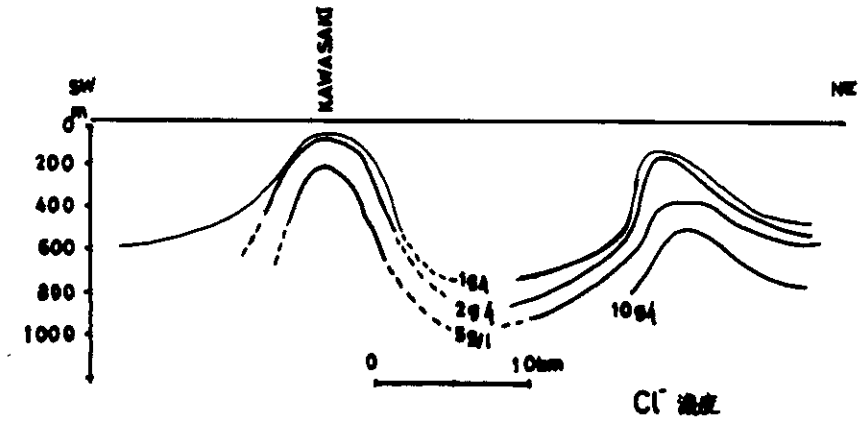
図－20　^{14}Cによる年代測定（東大理，学習院大理，１９７５）



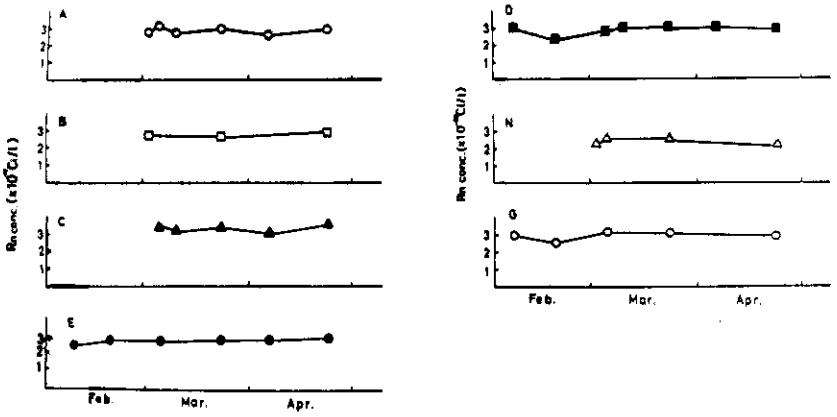
図－21　地下水の化学分析（東大理，1975）



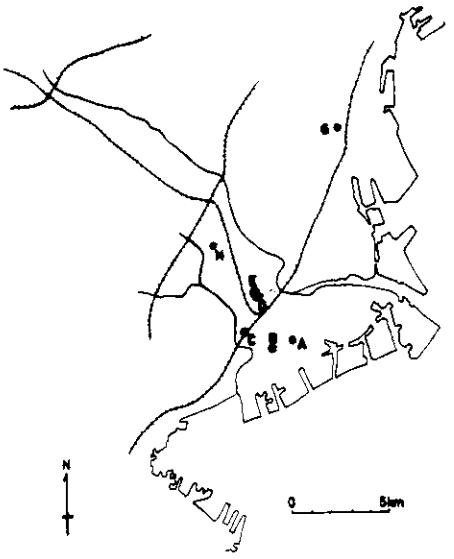
図－22　地盤隆起域の地下水の分布（東大理，1975）



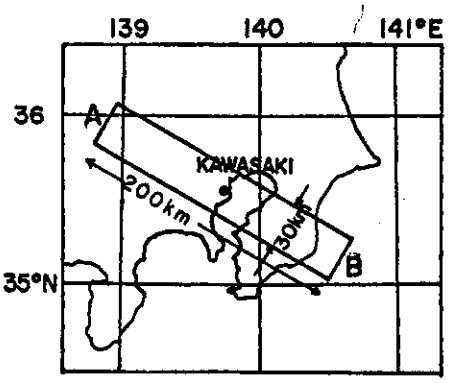
図－23　地下水中の Cl^- 濃度（石和田原図，1956）



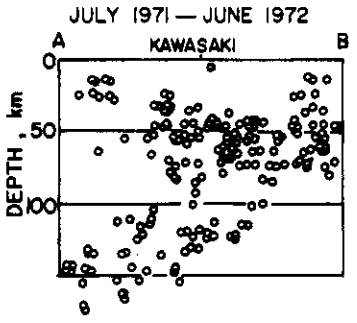
図－24　ラドン濃度変化（東大理，1975）



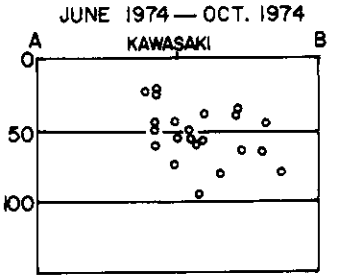
図－25　ラドン濃度観測井



図－26



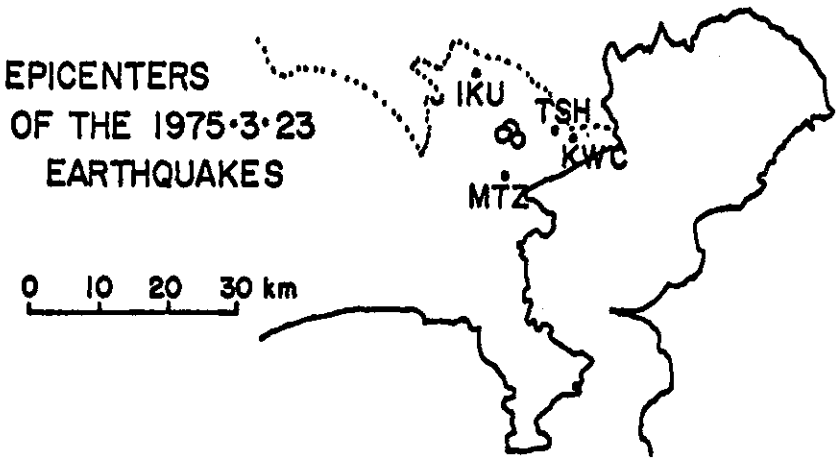
図－27



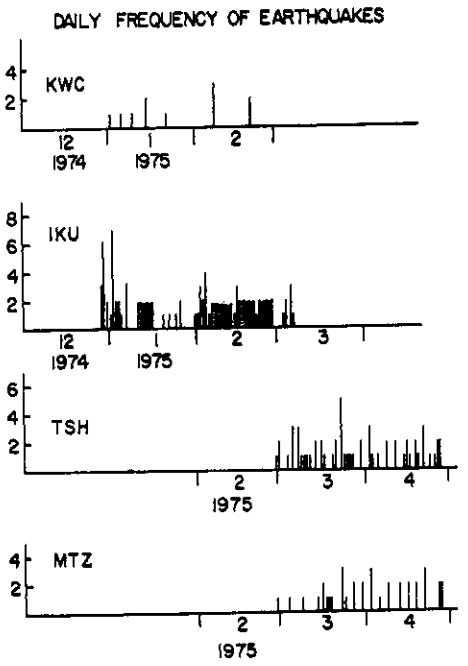
図－28

表－3

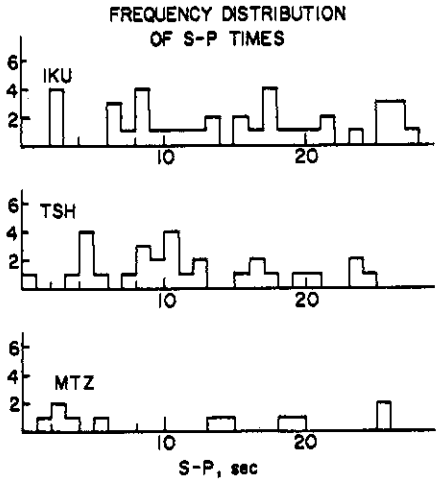
観測点／コード	位置，海抜（m）	観測期間	機　器	10Hzでの総合倍率	備　考
川崎市役所 KWC	35° 31′ 39.″0 N, 139° 42′ 20.″0 E, 2	74.12.16 –75. 2.22	上下動　1Hz インク書ドラム	4,000	地下室の床の上
川崎市生田 IKU	35° 36′ 05.″8 N, 139° 33′ 23.″1 E, 17	74.12.28 –75. 3.30	上下動　1Hz 水平動　1Hz 磁気テープ	70,000	地下66mのトンネルの床 三紀層（土丹岩）
横浜市三ツ沢 MTZ	35° 28′ 27.″2 N, 139° 36′ 54.″0 E,　20	75. 2.13–	上下動　4Hz インク書ドラム	10,000	岩石（土丹）の露出した崖の中腹
川崎市 東芝柳町工場 TSH	35° 31′ 34.″5 N, 139° 41′ 30.″8 E, –78	75. 2.26–	上下動　1Hz 水平動 4.5Hz インク書ドラム	5,500（上下） 4,500（水平）	地下80mの井戸の底
川崎市 緑ケ丘霊園 MID	35° 36′ 13.″2 N, 139° 35′ 51.″0 E,　20	75. 3.31–	上下動　1Hz 水平動　1Hz 磁気テープ	80,000（上下） 94,000（水平）	三紀層（土丹）の露出した崖の横穴



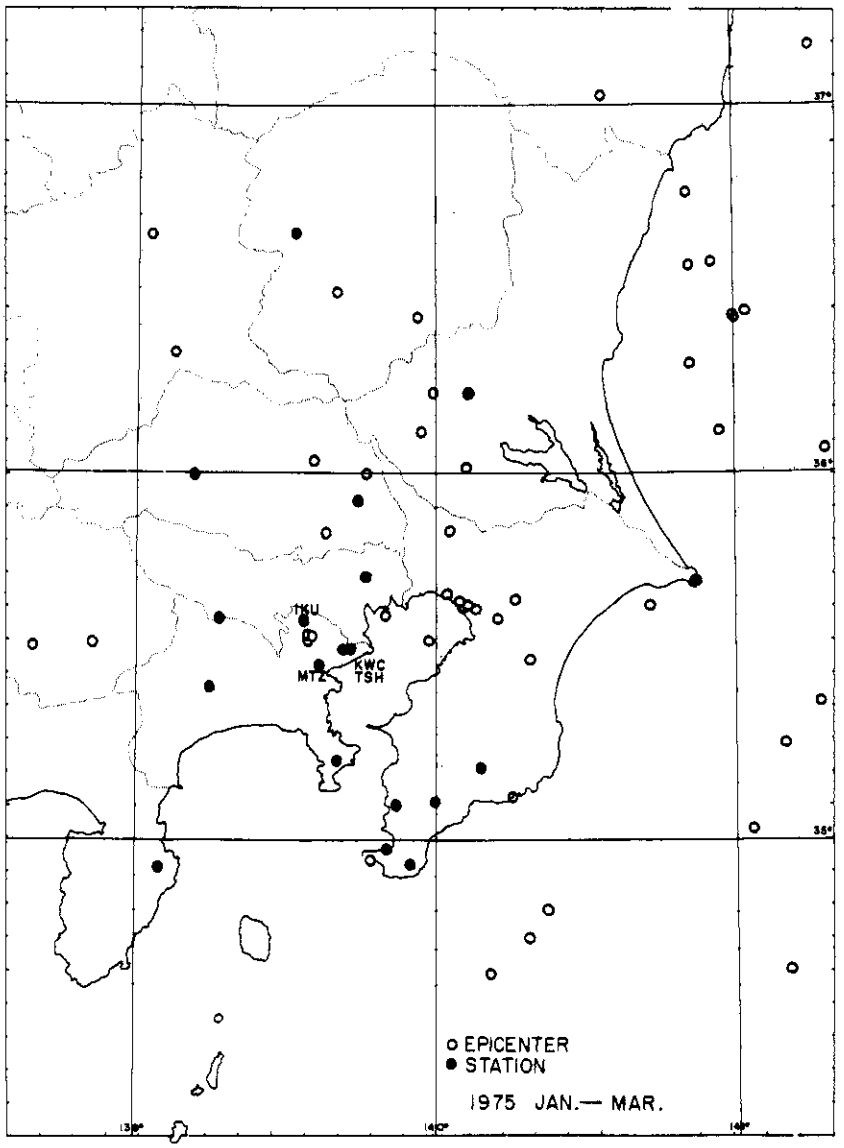
図－29　臨時観測で決められた最も浅い川崎の地震
深さは3個とも30km，M≈3



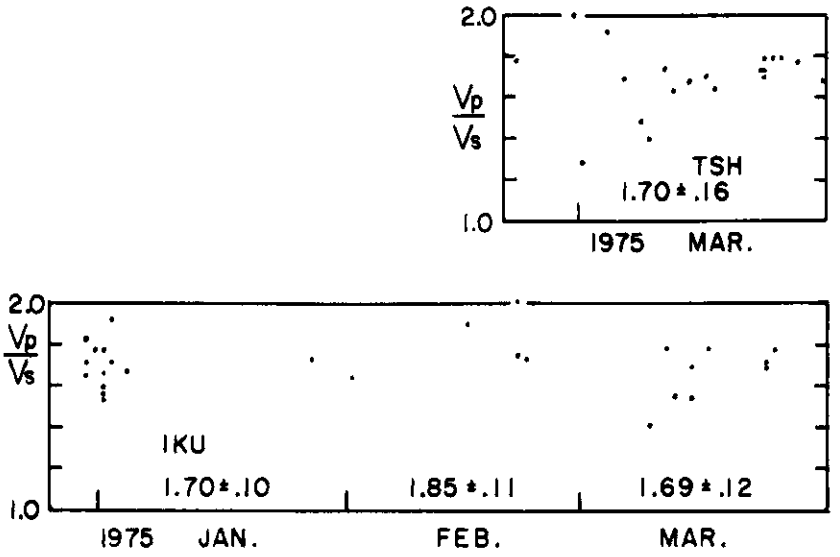
図－３０



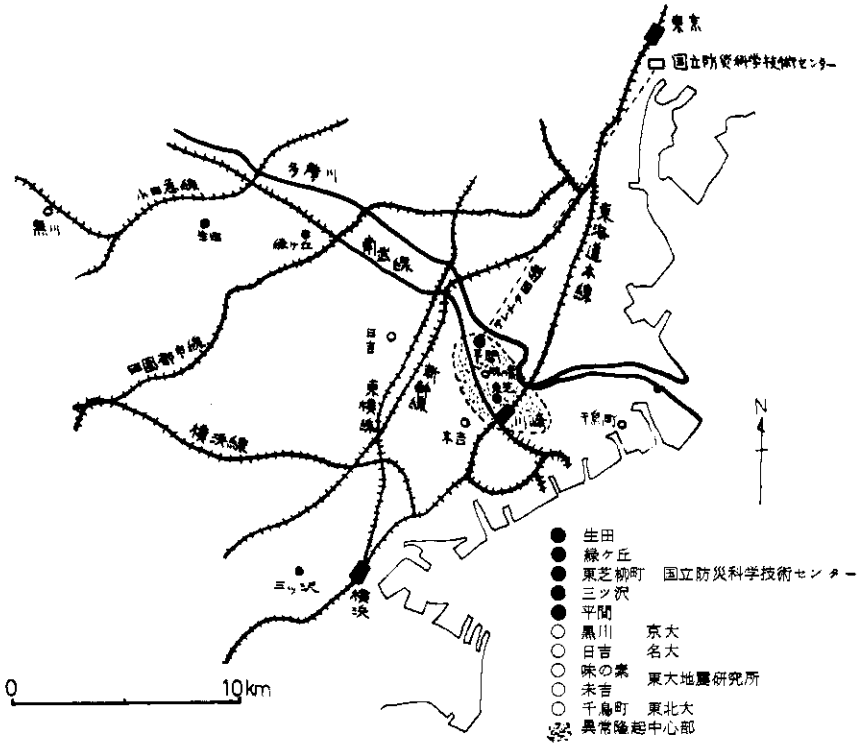
図－３１　Ｓ－Ｐ時間のひん度分布（３０ｓｅｃ以上のものは除く）



図－32　震　央　分　布　図



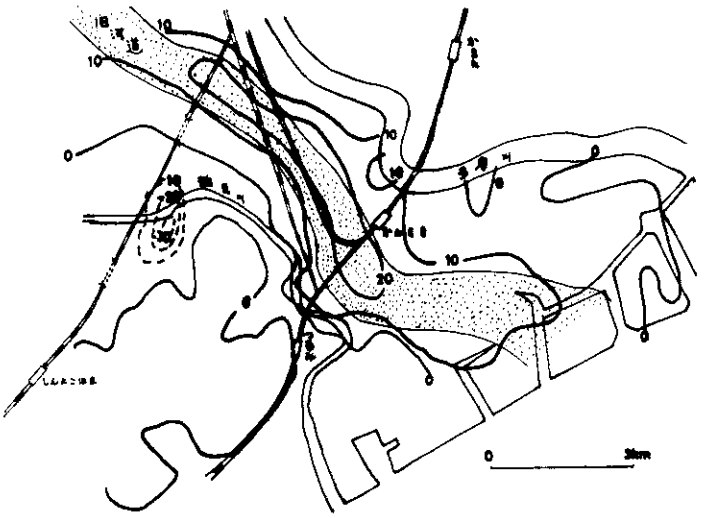
図－33　V_p ／ V_s 変化



図－34　川崎近ぼうの臨時地震観測網

表－4　1975年5月までの多摩川下流地域地盤隆起現象に関連した調査研究の主な結果

1. 水準測量	川崎を中心として，直径約10 kmの範囲で最大1 cm／yearの隆起の確認
2. 水平歪測量	最近の15年間では有意な歪の蓄積は確認できず．
3. 地下水位調査	地盤隆起地域で水位の上昇確認，中心部では最近1年間で10m以上の上昇．水位の低かった所程上昇は大． 揚水量と水位変動の相関を確認．
4. 地下水分析	ラドン：有意な時間的変化なし． トリチウム，^{14}C年代，化学組成：第二京浜国道以東を除き，旧河道北西部の多くは新しい現在の多摩川系の水．東海道線以東で，化学組成の異なる1万年以前の古い水を確認．
5. 地震観測	隆起地域では，30 km より浅い地震は確認できず． 地震波速度比　Vp／Vs は有意な変化は確認できず．



図－35　多摩川下流地域における地盤上昇（川崎市，1975）
昭和49年1月～昭和50年1月
（川崎市水準基点を基準，単位mm）