

第5回 松代地震センター談話会発表記録（その1）

1. 日 時：昭和43年1月25日
2. 場 所：松代地震センター会議室
3. 発表題目：松代群発地震に伴う測地測量結果について
4. 発表者：建設省国土地理院測地部測地第三課長補佐 田中勇吉

国土地理院では、昭和40年8月地震始まって以来、この地方の測地測量をやってまいりました。大体この地図に書いてあるように実施したのでございますが、地殻の上下の動きを知る為の水準測量、それから水平の動きを知る為の辺長測量と三角測量および地磁気測量・重力測量で、これらを現在まで数回繰り返して来た訳でございます。

最初に昭和40年秋に水準測量124km実施しましたが、実はこの年の夏、丁度私の方で、この地方の水準測量を全般的に行っていて、それを含めて松本から糸魚川・直江津を経て、柏崎・長岡・松本・上田・長野・中野までを追加し、非常に大規模な測量を行った訳でございます。

続いて昭和41年に同様に水準測環・地磁気・重力測量を行い、その後大体毎年4月～6月の春期と9月～11月の秋期の春秋2回同様な測量を繰り返しております。

その内容は、水準測量・辺長を含む三角測量・地磁気・重力測量であります。

国土地理院の測量は、松代のごく近いところに極限せず、北信一帯、場合によっては水準測量につきましては新潟県の南部の方まで含みまして、広い地域に亘って行って来たのであります。

これは、松代の地震と言うものが局地的なものでなくて、もう少し広い範囲に亘って影響があるのではないかという考え方が1つ、もう1つは、こういう測量によりまして変動を求める場合に、変動の基準になる所、何処か動かない所がなくては変動が出ない訳でありますから、そういった動かない所をはっきりさせると言うことから、広い地域の測量が必要だという考えに立っているのであります。

そう言う訳で、40年の秋から毎年春秋の2回測量を繰り返してまいりまして、この結果は今までに私の方から報告が出ておりますが、今日そういったものをまとめてお話ししたいと思います。

この測量の1番中心であり、重要なのは、上下変動を調べる水準測量であります。この地方の定期的な一等水準測量は、1番始めに行いましたのが1891年ですから、明治24年になりますが、それから以後1920年～27年の間、1941年頃、1955年～57年、それから1965年の今回のもので、今までに大きな測量が今回を含めて4回で、4回目の昭和40年に丁度この辺を行っていたのであります。その間隔は一番初めが1891年から1920年頃まで大体30年でございますが、その次の1920年から1955年頃まで、これは35年位であります。今回ののは1955年から1965年で、10年位の間隔をおいております。

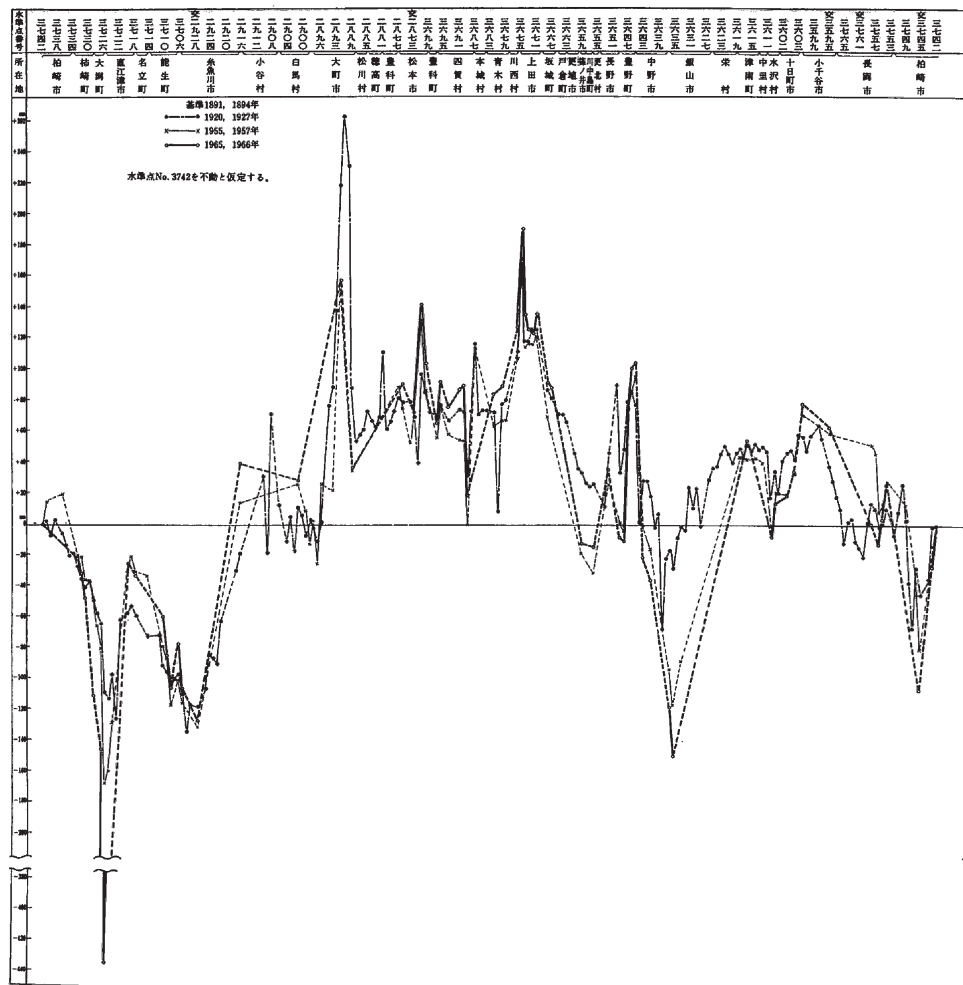
この地域では、既設の水準路線としましては、図にみられるように大きなもの1つしかなかったので、地震発生以来相当量の細部路線を新設いたしまして、だんだんに測量の主力を新設した細部路線の方に移して来た訳でございます。この測量は、精度を確保するため、すべて一等水準の規格で行っております。それについて、昭和41年の春には、松本～大町まで、大町～長野まで、長野～直江津まで、柏崎～長岡～中野～長野まで、それから中野～須坂までと松代付近の細かい路線を新設いたしております。その次に、昭和41年の秋には、柏崎から直江津を経て長野を通して、大町、松本、上田、長野、それからこの辺の松代付近の路線、それからこちらの方は中野までの観測、昭和42年の春には、柏崎から

直江津、長野、直江津から糸魚川を経て松本、上田を通して長野までの観測と、その時に更埴から麻績を通して松川までの路線を新設しています。これと同じ時期に、東大の地震研究所で、長野から大町まで観測しているのです、ここで環ができております。42年秋には、長野から大町まで、大町から松本まで、松川から更埴まで、長野から上田まで観測を行って来ております。

水準測量のことは、皆さんよくご存じのことと思いますが、精度の点につきましては、2 km おきに水準点の標識がございます。今、新しい国道では、1 km おきに金属標がはいるようになっておりますが、2 km 行ってかえった時に、往復の差の制限が3 mm 乃至4 mm と言うこととございます。ですから、そういう近い区間におきましては、5 mm や1 cm の往復差が出れば、これは有意の変動だと言える訳でございます。それから遠い距離につきましては、この誤差の累積の制限が $2\text{ mm } \sqrt{S}$ となっております。Sは km で表わした距離であります。例えば、400 km 行きますと \sqrt{S} が20 ですから、大体4 cm と言うこととございます。そこで近い所につきましては、数 mm から1 cm あれば有意の変動だと言うことになります。

この場合我々は、地盤の動かない所として柏崎のあたりを選んで、ここを不動と仮定いたしまして、そこから松本まで水準測量をやった場合に、松本でどの位の誤差があるかと言いますと、大体2 cm ~ 3 cm 位ですから、絶対的の高さの標高にいたしまして、それを越すような差が出れば、有意の変動だと言える訳でございます。

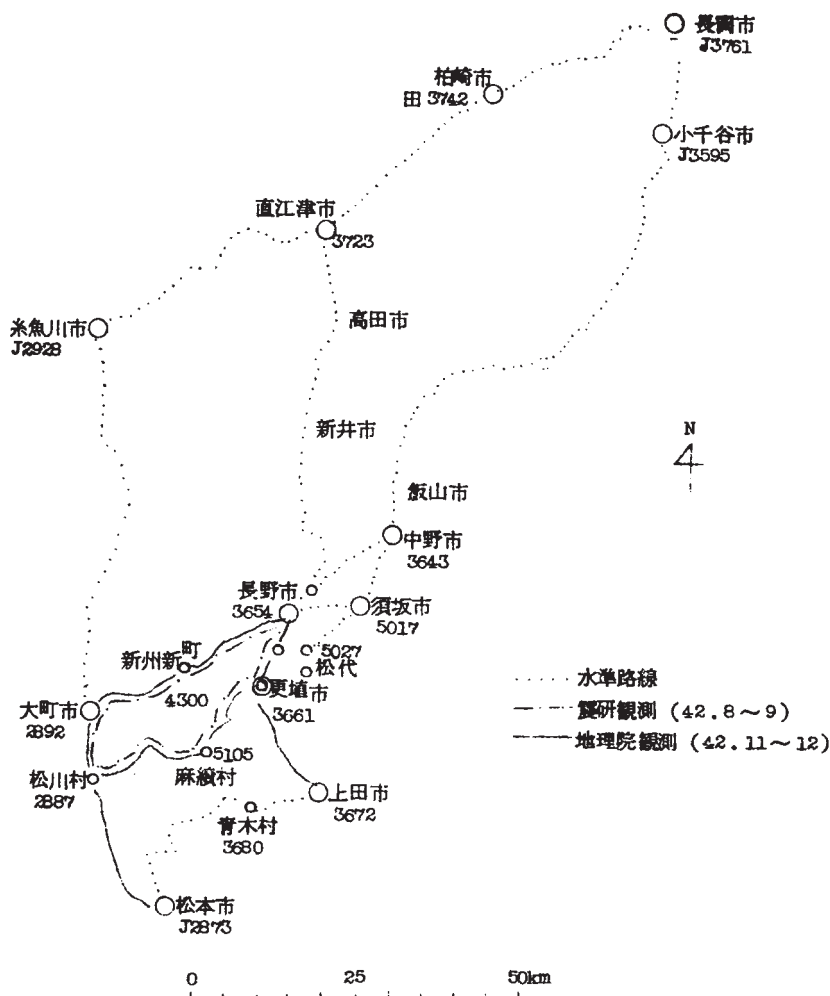
そこで、その結果を図示いたしましたのがこのグラフでございます(第2-1 図)。



2-1 図 一等水準点累年変動図 測地測量第1報より

今回の水準測量は、昭和 42 年 11 月～12 月に実施したもので、第 2 - 3 図に示すごとく、上田－更埴－長野－大町－松川－松本間と、更埴－松川間とである。地震研究所は別に、昭和 42 年 8 月～9 月に更埴－長野－大町－松川－更埴の環を調査している。松代群発地震は、すでに衰退期に入った感もあるが、第 3 報までの結果から、なお、大町・松川附近に於て異状な地殻変動が予想されたので、この地域の調査測量を重点的に行なった。

これは、柏崎から出発して直江津・糸魚川・大町・松本・青木村を通りまして、上田・更埴・長野・中野・飯山・十日町・小千谷・長岡・柏崎へ戻る 1 番大きな水準の幹線で、これについて表わしたもので、1 番始めの明治の 1891 年～1894 年の観測値を基といたしまして、第 2 回の観測の変動を黒○で表わしてあります。この場合、一廻りして元に戻った時にゼロになるはずが、ゼロにならず 75 mm 観測差がありますが、これをゼロといたしまして、全部誤差を割り振って来た訳でございます。環全長に等分に割り振った場合 75 mm ですから、南と北とでは 3 cm 位であります。この結果から見まして特徴的なことは広い地域でございますが、33 年の間に直江津から糸魚川のあたりにつきまして、かなりの沈降があったこととあります。大町付近では非常にはっきりしております。これは、この間に地震があったことで肯定されます。



2-3 図 北信地域地殻変動調査測量水準路線図(測地測量報告第 4 報より)

それから、その次に第2回観測 1920年～1928年まで、それと第3回の 1955年～1957年の観測、これも大体30年ではありますが、その差を示したのがこの赤○でございます。これを見ますと、これにつきましては、直江津あたり頸城郡の平野の所ですが、ここには沈降が見られますが、あとはそれほど大きな差は見られません。

全般的にそれ程明確なものは出ていないようです。

その次に第3回目とその次の地震の直前乃至その後約10年間の変化が緑であります。この線を見ますと、特に特徴的な動きはないようであります。

それから後は、大体半年ごとの観測と言うことになる訳でございますが、このあとは必ずしも環を一廻りしてありません。

1番新しい42年の春と42年の秋、これを見ますと、特に明確なものは出ていないようであります。

昭和41年に新設いたしました直江津から長野まで、それを含みまして柏崎から直江津を経て長野・大町・一部分柏崎から直江津までと、大町から松本までについての変化を見てみます。この場合、柏崎を不動のものとしまして、黒○が初め新設した分であります。昭和41年の春から秋までのもので、これを見ますと、直江津から高田へ向って少しずつ上昇して来まして、特にここで非常にはっきりした隆起が見られます。

長野から新町を経まして、大町へ向ってだんだんに上がりまして、松川付近、このあたりに非常に顕著な隆起が見られます。

それから半年たちました昭和41年の秋から42年の春までの変動を示したものがこの赤でございます。

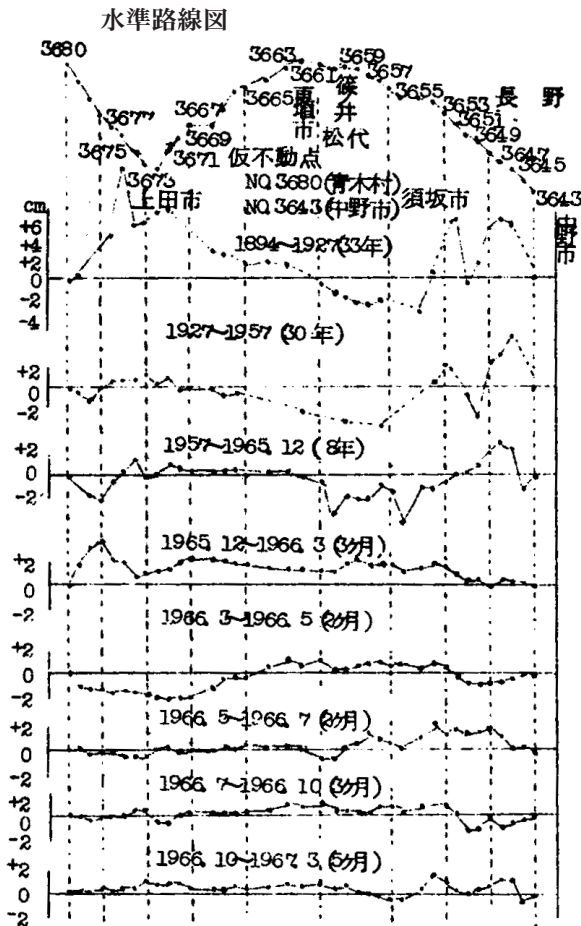
この赤の方は、柏崎から示してありますが、ここで今までこのようであったものがこのように変わっていると言うことが1つ見られる訳でございます。

以上が比較的長い路線につきまして探ったのでございますが、ここに非常に近い所について、青木村から上田を通りまして、長野から中野までの間をぬき出しまして、青木村と中野の両端をおさえまして、そこを動かなかったものとしたしまして、その途中にある代表的な点の時間的な動きを示したものがこの図であります。中野付近のNo.3645と言う水準点、これでは一番始めが1894年、それから1928年、57年、65年と観測してありますが、このあとが殆ど一方的な上昇、大体70年位の間に13cm位、それからNo.3649青○であります。ここは長い間殆ど上昇は見られない。

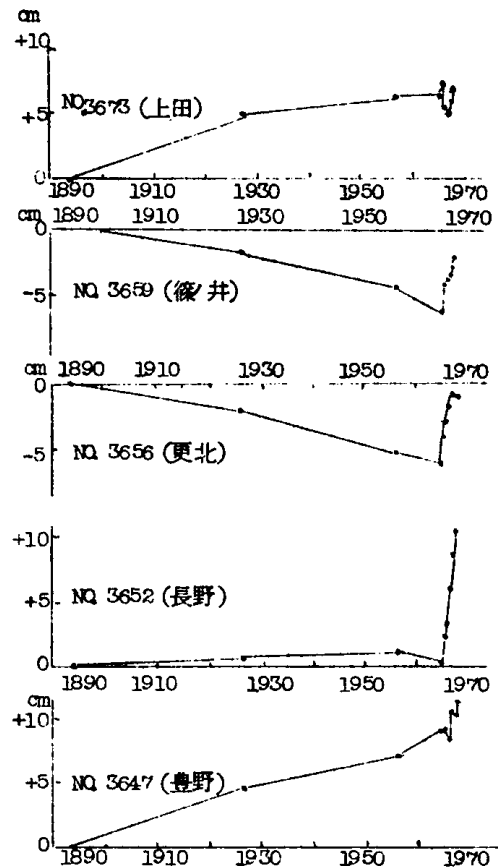
No.3652、これは豊野のあたりですが、白○の所、これも余り変化していない。ところが、ここは地震の起こりました65年、そこからは非常に急激に上昇している。ここ2、3年の間に、No.3659これは長野であります。これは始めの間はぐっと沈んで、ここも地震が起こりましてから、一方的な上昇を見ています。更埴のNo.3661、これは殆んど変わっていなかったものがここから上昇、但し、これは途中で少し下がったりしています。No.3664・No.3668は、65年位から上昇したのですが、その後沈降に変わって来た。それからNo.3673、地震の起こった直後上がりまして、その後沈降に変わっております。

こういった水準測量の結果を見まして、非常に特徴的なことは、普通の場合ですと地殻変動で1年に何cmというのは、従来例からしまして非常に大きなものであります。

この付近では地震が起りまして近々数ヶ月或いは2、3年の間に何cmと言うような上昇を示しているのは、従来この様に水準測量を非常に短い間に繰り返したと言う例は実はございませんので、今度の測量によって、はっきりしました。これは非常に大きな収穫ではないかと考えています。



長野近傍水準点配置および変動図



長野近傍一等水準点累年変動図

前に新潟の地震の直前に、新潟の付近に地盤沈下がございまして、水準測量を繰り返しておりました。そこにたまたま地震がありまして、ある程度の動きが見つかったのをございます、地盤沈下を別にいたしまして、この様に急激な隆起が見つかったのは初めてではないかと思ひます。

あと細かいこの附近の水準測量の結果につきましては、むしろ東大震研の方でまとめておりますので、そちらの方へゆずることにして、水準測量の方はこれ位にいたします。

その次に水平変動を出す為に、菱形基線測量と三角測量と言うのをやってきました。

一般に水平変動を見出す為には、三角測量を繰り返せばよろしいのをございまして、日本全国の一等三角測量と言うのを明治にやりましてから、戦後南海の地震を契機といたしまして、昭和 22 年に開始して、昨年やっと北海道まで 20 年程かかって終わりました。全国の測量を繰り返すと言うのは、非常に大変な仕事であります、この新旧の結果を比較することによって、日本全域について、土地の水平変動が明らかにされております。いま、この方法で局部的に三角測量を繰り返すことになる訳でございまして、もっと直接的に地面の動きを見るところで、最近距離測量が簡単に出来る様になりまして、その方法がとれる様になった訳でございまして。

これは昔からございまして、三鷹の天文台の中に、一辺が 100 m の三角形を 2 つくっつけた形をした菱形基線と言うのがございまして、その辺の長さを毎年精密に測定していたところ、それが関東地震の時に非常に特徴的な動きを示したということ、坪井先生が見出された論文もございまして、これは非常に面白いことなんです。しかし、辺の長さが短いと、どうしても局部的のものしか出ない。そこで、もう少し四辺形を大きくいたします。一辺 10 km 位にいたしまして、そこに対角線のたすきを掛けた

様な四辺形の6つの辺を観測します。この様な菱形基線観測は、U.M.Pを契機として、国土地理院が全国的に始めた訳でございます。

大学などでも、ジオジメーターで長さの変化を測ると言うことをやっておいでですが、多くの場合、1つの点に機械を置きまして、鏡を対点に置いて、その辺の長さを測ります。これは時間的に早い変化をつかまえようとする場合には、こういった方法に頼らざるを得ない訳でございますが、実は測定の精度のチェックがつかない訳でございます。

しかし、この図のような四辺形を観測しますと、実はここに条件が入ってまいります。それによって精度がチェックできるのです。一辺10 km位にいたしますと、ジオジメーターで測るに丁度よい距離でございますので、松代のこの辺りに菱形を作りまして、その測定をした訳であります。

また、精度のことになりますますが、ジオジメーターの精度と言いますのは、公称数10万分の1というところでございますが、距離が長ければ100万分の1以上は出るのでございます。10 km位測りました場合、10万分の1は10 cmですが、数 cmのところまでは間違いなく測れます。

松代群発地震に伴う水平変動調査のため、ジオジメーターによる菱形基線網の辺長測量に引き続き、昭和41年9月20日から11月6日に至る間、松代町周辺の三角測量の繰り返し観測を実施した。この三角測量では水平角観測のほかにも高度角も同時に測定し、間接水準測量の方式で三角点の標高を求め、三角点の水平変動と併せて高さの変動も記録した。

ですから数10万分の1は間違いなく出ると言うことです。

四辺形の4点は、妻女山・川田・信里・平柴でございますが、その4点を選びまして、その間の6辺をジオジメーター測定をやった訳でございます。

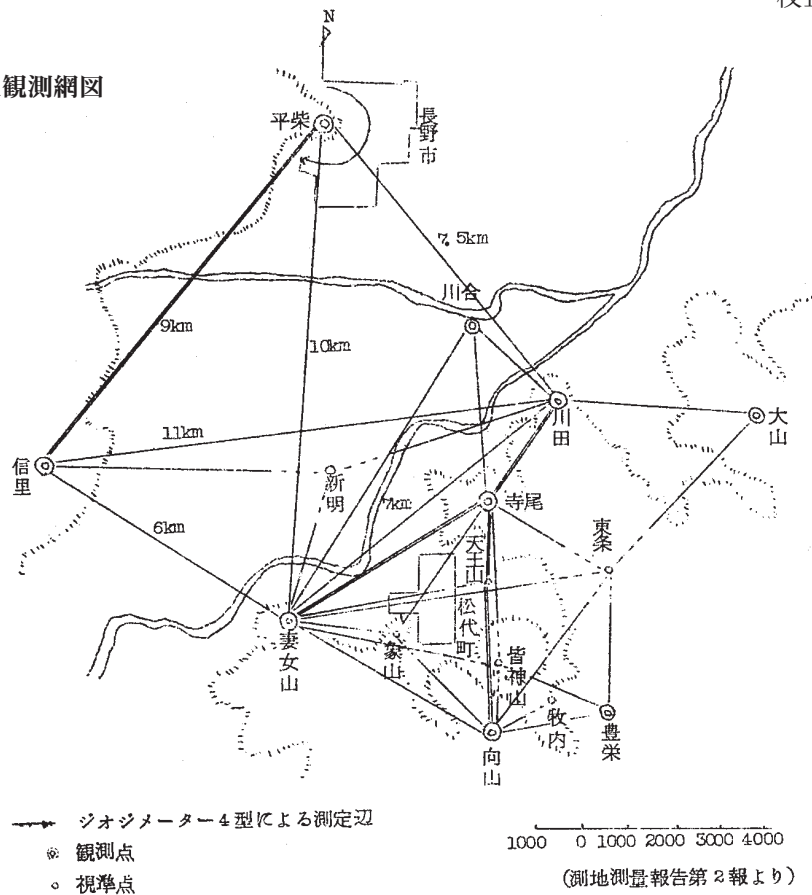
一番初めに測りましたのが、昭和41年の春でございますが、それだけではその後でまた測定を繰り返さなければ変動が出ない訳でございますが、昔から一体どの位変わっていたかと言うことがわからないと言うことを考えまして、4点をそれぞれ近くの三角点に測量して結びつけ、三角点間の成果を比較することにしました。それによりまして明治の頃、この付近の三角測量をやったその時の成果と、41年春、ジオジメーターで測った結果とが、どの様に変動が出ているかと言うのをまず見た訳でございます。それによりまして、南北につきましては、大体25 cmの伸び、この間約2 kmでございますが、それから東西方向につきましては、反対に25 cm縮んだという結果が出ています。これは始めに比較した元の値が、明治の三角測量の結果でございますので、三角測量の結果の位置の精度と言いますが、ジオジメーターよりもどうしてもだいぶ落ちるので、それを考えましても、明らかに南北が伸びて、東西が縮んだと言うことが出た訳でございます。その後、ジオジメーターの測定をもう一度繰り返しました。1年たってでございますが、その結果は、南北方向につきましては3 cm伸び、東西方向につきましては11 cm縮まった結果が出ました。これは3 cmと言いますと、ちょっと精度ギリギリに近い所でございますが、11 cmというのは、明らかに有意でございます。

そこで今度はこの松代付近、ここに国土地理院で置いている三角点が沢山ございます。その三角点の測量をやってみまして、それがどんなふう動いているかと言うのを見たいと思います。

これは妻女山・川田・長野・白根山・信里、これが今申しました菱形基線、この辺からこちらの方に、そこにある三角点が8つ位になりますが、ここの三角点の測量をやった訳でございます。

これは三等三角点と四等三角点が入っておりまして、三等三角点を作ったのが明治でございますが、四等三角点は昭和26・7年頃になっておりますので、比較に使った古い値と言うのに多少揃わない点がございますけど、一応昔のデータと比較しまして、水平の動きがどんなふうになっているかと言うのを、これは先程の菱形の南方、松代にごく近い三角点だけを出したものであります。

松代地区観測網図

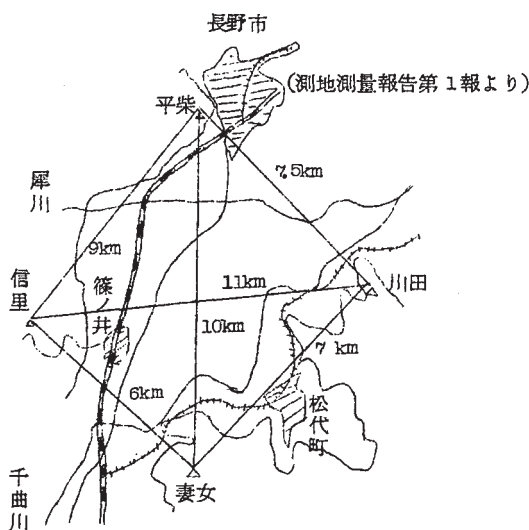


これは、明治の成果と昭和41年の秋の三角測量の結果との比較でございます。太い矢印で出ておりますのが水平方向の変動を示すもの、これだけが10cmですから、これがこちらの方に行きますと、40cm位になります。そういう結果が出ております。

それから三角形で表現しているもの、これが沈んだ・こちらの方は上がったということですが、三角測量では、高さの方の観測精度と言うものは、水準測量よりずっと落ちるのでございますが、高さの方につきましては別にしまして、水平変動のベクトル、これを見ますと、ここで非常に特色的なことは、明らかにここを境といたしまして変化があります。

各基線長一覧表

辺	観測値 m	補正值 m	平均値 m
信里-平柴	9127.463	0.023	9127.486
川田-平柴	7553.906	0.013	7553.919
妻女-平柴	10257.764	-0.040	10257.724
妻女-川田	7116.069	0.018	7116.087
妻女-信里	6003.512	0.011	6003.523
信里-川田	10722.921	-0.049	10722.872



長野地方菱形基線図

辺	菱形基線 41.7 測定値 m	明治測定値 m	差 m
平柴-信里	9127.486	9127.423	+0.063
信里-妻女	6003.523	6003.470	+0.053
妻女-川田	7116.087	7116.324	-0.237
平柴-川田	7553.919	7553.753	+0.166
平柴-妻女	10257.724	10257.478	+0.246
信里-川田	10722.126	10723.126	-0.254

これは、外の方からもはっきりわかったことですが、測定の結果から、この様にはっきり出ています。妻女山・長野の間が伸びたと言うことは、当然だということになる訳でございます。

その次に、これが明治の成果と、昭和 41 年の秋の三角測量の結果でございますが、昭和 42 年の春、もう一度三角測量をやりました。その半年の間の比較が大体次の通りであります。

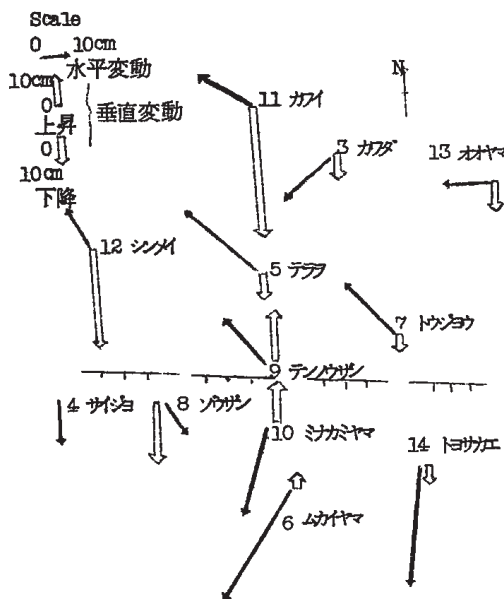
これでも、この線よりもこちら側が殆ど皆こちらを向いています。それに対して、こちらより北の方はこちらを向いていると言うことで、ここにはっきりしたものが出ていると言うのが 1 つ、これが三角測量によりまして、昔との比較、半年の間の比較でございます。

実は、その頃他の伸縮計とか傾斜計の記録なんか、もっと早い周期の伸び縮みと言ったものが出ておりますが、三角測量によってそういったものを出して見たいと言うことで、昭和 41 年の秋 9 月～11 月にかけて、1 月半ばかりの間に 1 週間か 10 日おきに位置を出して見る。そう言うのをやって見た訳ですが、ちょっと見にくいのですが、水平変動が見にくいので、高さの変化の方だけを出してありますが、この非常に長いものと、高さの方で 10 cm 以上ですが、1、2、3、4、5、6 と言うのは大体 1 週間か 10 日おきに、まあこんなふうに変化していったと言うことでございます。

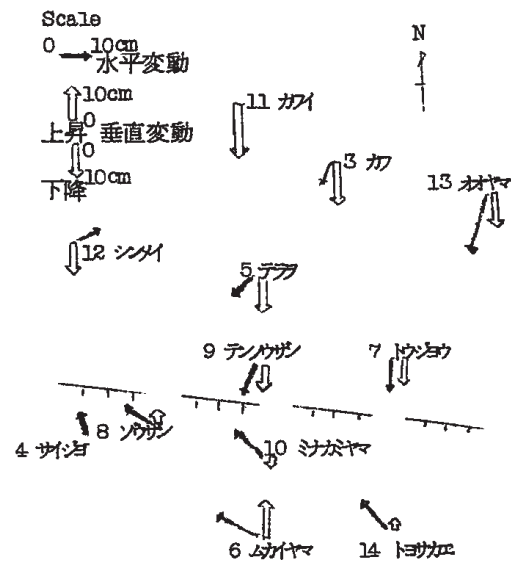
皆神山でいいますと、一番始めの 1 と言うのは、明治の成果に対しまして、測量を始めた 41 年の秋の一番始め測定、それから 1 週間、2・3 週間、こんなふうに変化したものでございまして、この場合高さの精度に多少問題ございますけれども、短い期間内でかなりはっきりした変動があったと言うことは言える訳であります。

水平変動の方は、これ位にして次に移ります。

それから、地磁気と重力の観測をやっております。これにつきまして、磁気の方は大分色々議論がございまして、その内容を申しますと、国土地理院では、全国に大体 100 点位の一等磁気点、約 800 点位の二等磁気点が置いてございます。これを繰り返し測りまして、日本全国の地磁気の 3 成分の地理的分布と、永年変化を出している訳でございます。



地震前 No.1～('66年 9月)変動図



No.6('66年 10月)～No.8('67年 3月)変動図

昭和 41 年、39 年の春からやはり春秋の 2 回、40 年の秋まで春秋、春秋で 4 回になりますが、大体松代を中心とする北信から、長野県・新潟県南部に亘りまして、磁気の測量を繰り返して見た訳でございます。磁気の場合これはご承知の通り毎日、日変化がございます。

年変化もございますので、観測値のエポックレダクションする同じ時期にひきなおすという点に、非常に問題がありますが、大体エポックレダクションの精度と言うのが、全磁力にしまして数ガンマの程度であろうと思います。それ以上の変化と言ったものがあれば、それは有意なものではないかと言える訳でございます。そう言ったことの外に全体として、永年変化と言うものがある訳でございます。

そこで、こちらの一等磁気点と言うのが、なるべく磁気異常のないような所に置くようにしておきまして、その観測結果からは、全体的な永年変化と言うものをおさえまして、二等磁気点の観測値から全体的な永年変化を引き去りまして、その残りを局部的な異状のものだと考え、それによりまして昔のデータから一等磁気点につきましては、戦後大体 4・5 回の観測がございますが、それから二等磁気点につきましては、全国 2 回終りまして、この地方は実は新潟地震のあとで一度やりなおしてありますので、3 回の観測がございます。

そう言ったデータを整理して見ますと、この付近にあります点につきまして長野・上田・和田・麻績・大町と 5 点の二等磁気点がございますが、この長野点と言うのが、実はあとで具合が悪い点がありまして、松代の皆神山の所に移した訳でございます。

上田・和田・大町・麻績こう言った点につきましては、明らかに全般的な永年変化と違うものが見出されております。これにつきましては、色々議論がございますので、細かいことは省略いたします。

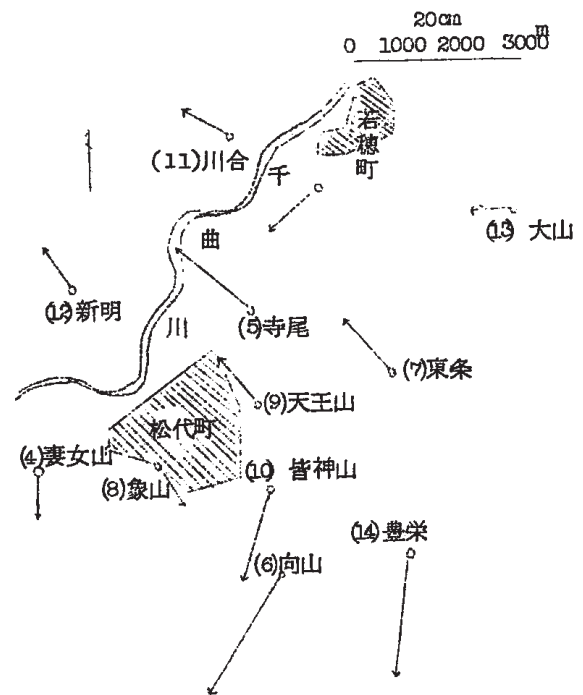
それから最後に重力のことではありますが、私の方で重力の測定をやるその目的は、この地方の重力異常の分布を調べると言うのがひとつでございますが、これにつきまして地質調査所の方でも松代附近の非常に細かいのをやっておられます。

私の方は例によりまして、かなり広い地域につきましての重力異常を出すと言うのがひとつ、それからもうひとつは、重力の変化と言うことですが、重力も高さと同じことございまして、測定するのは差だけでございます。

水平測量でも測定できるのは高さの差だけでございますから、高さの絶対値を出すと言うには、何処か動かなかったと言うことがはっきりしている所、この差を比較しなければいけない訳です。

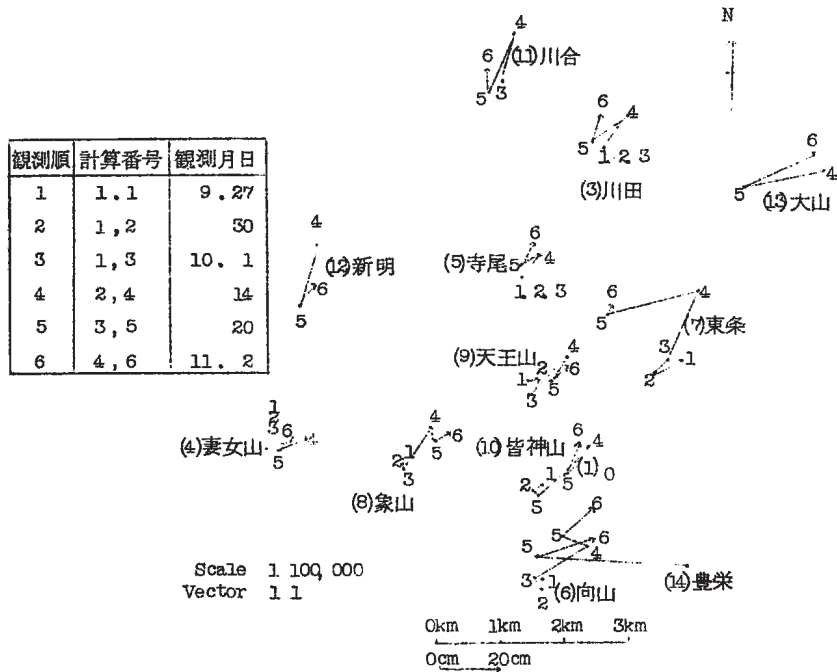
重力の場合ですとこのあたりでは、動かないと言う保証ができる所がなかなかないと思われる訳でございます。

そこで丁度、この観測所に、昔振子を持って来て測っております。その点と東京との重力の差が非常に小さくて、7 mm 位しかございません。その間を直接比較いたします。東京の目黒の国土地理院に重力室がございますが、そこそここの観測所の重力差、それを測定した訳でございますが、これは重力差が非常に小さい訳ですから、重力測量で必ずいつも問題になります。

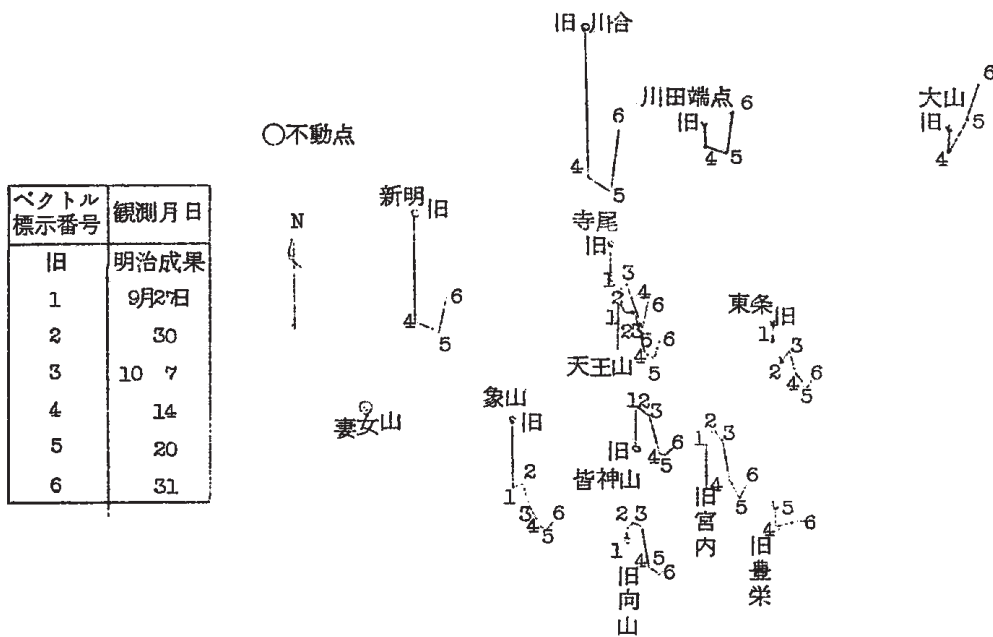


松代地区水平変動図(新-旧)

使った機械がラコステの重力計、これは一番新しいものですが、従来のものに比較して、精度の点では相当よくなっていて、100分5、又は場合によっては100分3位まで自信がもてるのではないかと思います。



松代三角網における1回～6回の平均成果から求めた水平変動図

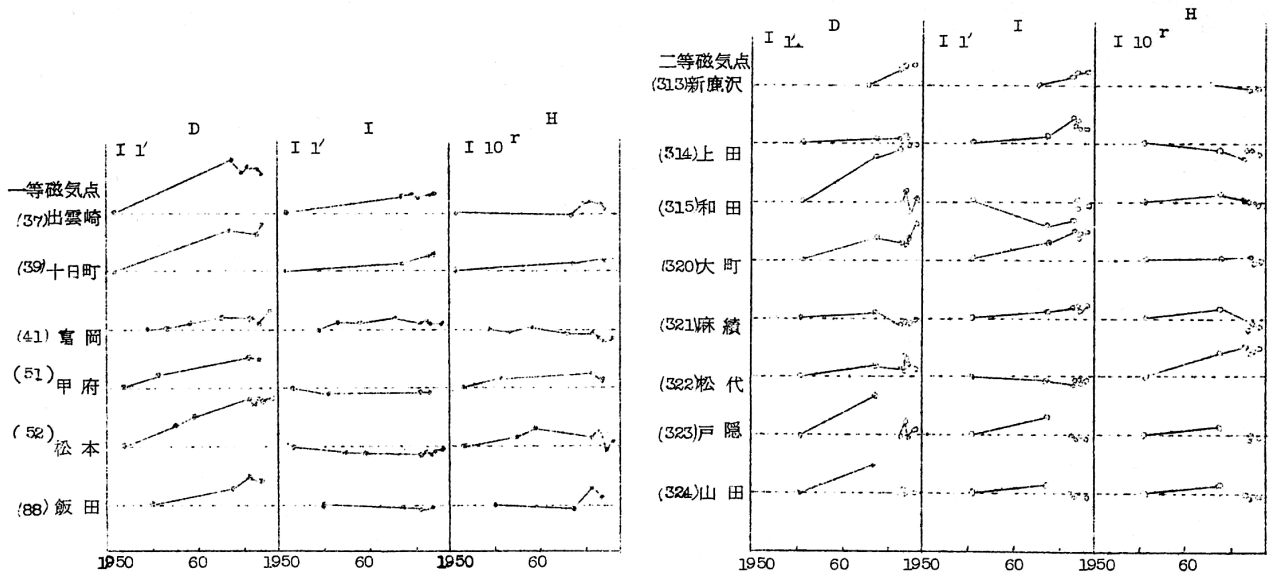


松代地区垂直変動図

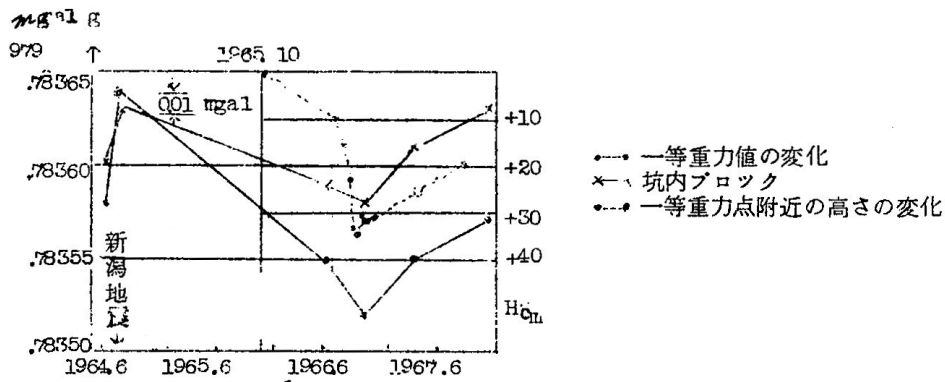
丁度新潟地震の直前にここで測定をやりまして、新潟地震の後測定をやっている訳ですが、1964年6月と7月に、それから地震が起きました後、1966年6月にここを測定しました。

それから、その後66年の秋、67年の春、秋と、実際の観測は地震が起ってから4回だけしかございません。(以下略)

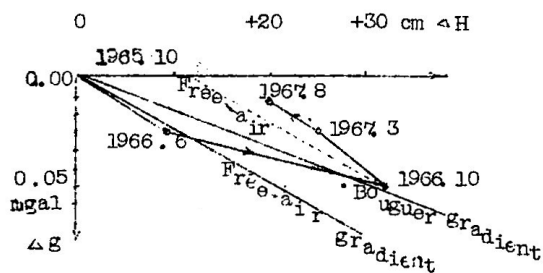
注：重力の測定値等については地理院の測地測量報告書昭和41年11月第1報から昭和43年2月第4報で報告されているので省略致します。



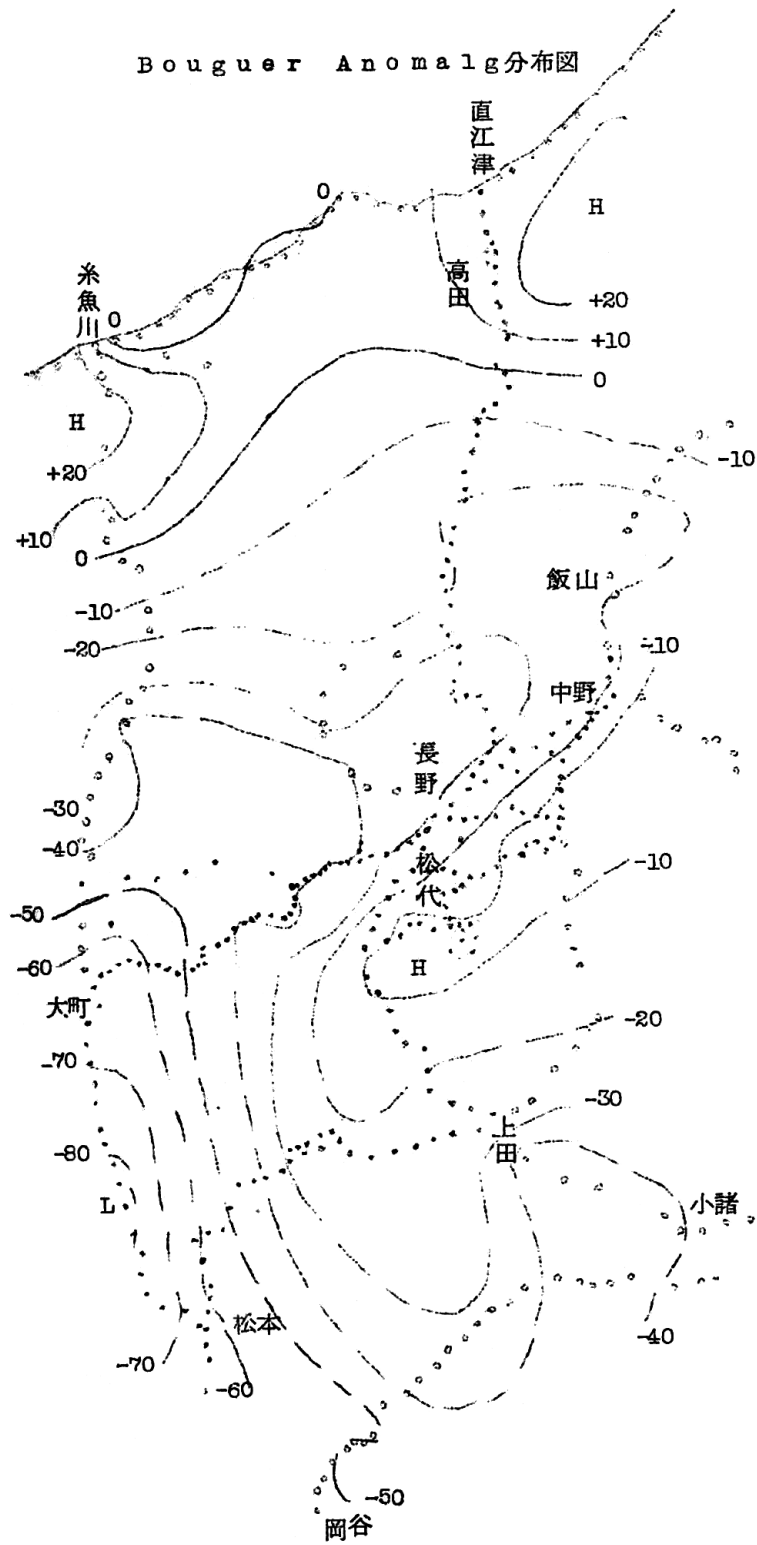
第4-1図 柿岡に相対的な地磁気積年変化図



松代一等重力点における重力値と高さの変化



松代一等重力点における重力値と高さの変化の関係



Bouguer Anomaly 分布図