水準測量データから求めた日本列島１００年間の地殻上下変動
Vertical Crustal Movements in Japan Estimated from the Leveling Observations Data for the Past 100 Years.

測地部　国見利夫・高野良仁・鈴木実・斎藤正・成田次範・岡村盛司
Geodetic Department
Toshio KUNIMI, Yoshihito TAKANO, Minoru SUZUKI,
Tadashi SAITOU, Tsugunori NARITA and Seiji OKAMURA

要　旨

我が国の水準測量は，明治16年（1883）から始まり，現在までに延べ129,084kmの観測が行われている。これらの観測値は，LAGSAS（水準・重力測量に係る総合解析システム）にデータベース化されている。今回，約100年前の一等水準測量（第１回測量）から，最近行われた一等水準測量（第８回全国改測）までの各改測毎のデータを用いて全国同時網平均計算を行った。過去100年間の日本列島における地殻上下変動の様子が明らかになったので報告する。

１．はじめに

日本列島の上下変動の検出は，各改測毎に日本水準原点の１点を固定点とする全国同時網平均計算を行い，同一水準点についてそれぞれの平均計算で得られた標高を比較することによって求めた。

明治以来100年間に設置された水準点は，約29,000点である。この間，亡失等により廃点処理されたものもあり，現存する水準点（2001/1/5現在）は一等水準点16,529点，二等水準点5,035点，三等水準点554点となっている。このうち，移転，再設された水準点は11,184点である。

全国改測は，平成９年度に８回目が終了し，現在は９回目の測量を実施中である。全国改測路線については，平成11年度に路線の見直しを行い，総延長距離は約20,159kmとなった。

LAGSASに収録されている水準測量データには，明治以来実施されたすべての水準測量の観測データと，再設・移転等の履歴データ，水準点上の重力値及び，水準点位置の経緯度などが含まれる

計算に使用したプログラムは，LAGSASを活用した網平均計算プログラムである。

２．水準測量データの概要

２．１　全国規模の観測データ

我が国の一等水準測量は，明治16年（1883）東京近傍の精密水準測量から始まった。全国の第１回測量（18,400km）は，大正２年（1913）にほぼ完了した。

第２回の測量は，関東震災を契機として開始され，第二次世界大戦の終了までに北海道を除いて全国の大半の水準網が観測された。

第３回の測量は，東南海地震，南海地震区域の改測を皮切りに昭和36年（1961）に完了した。

昭和37年（1962）から始まる第４回の測量以降は，日本全土を系統的に覆うように計画実施され，約７年周期で全国改測（北海道は除く）されている。この間，観測路線の見直し等もあり，路線長に増減はあったが，平成11年度以降は約20,000kmを10年間で実施できるように計画し，現在第９回を実施中である。

日本水準原点は，明治24年（1891）に，東京三宅坂の陸地測量部構内（現在千代田区永田町尾崎記念公園内）に設けられ，明治６年（1873）から明治12年（1879）までの約６年間の東京湾霊岸島における潮位観測から，その高さを24.5000ｍと定めた。しかし，大正12年の関東大震災による変動が，震災後の測量によって判明し，昭和３年（1928）にこの値を24.4140ｍと改定し現在に至っている。この間，全国に11カ所験潮場が設置され，我が国最初の本格的な潮位観測が行われた。

渡海水準測量については，本州と北海道，九州，四国及び離島間等を観測する路線があるが，各全国改測の都度，全路線について観測が行われているわけではない。

本州と北海道間は，昭和61年（1986）に青函トンネルを利用して直接水準測量（公共測量）が実施され，本州と九州間は，昭和27年（1952）以降関門トンネルを利用した直接水準測量が行われている。

２．２　地盤沈下，地殻変動地域の観測データ

２．２．１　地盤沈下地域の観測データ

わが国の地盤沈下がいつ頃から始まったかは正確にはわからないが，水準測量成果や産業活動の状況等を参考にすると，最初は東京の低地部において発生したものと考えられている。

東京の江東地区では，大正12年（1923）の関東大震災後に行われた水準測量によって，一部の水準点が異常に

沈下したことが判明した。当時，これは地震に伴う地殻変動と考えられていたが，その後頻繁に行われるようになった水準測量により，昭和５～６年（1930～31）頃に年間沈下量15～17cmの地盤沈下が認められた。

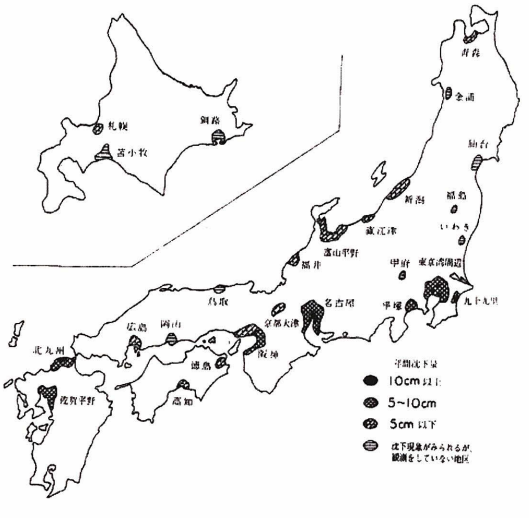
また，大阪においては，昭和３年（1928）の水準測量の結果，一部の水準点の異常が認められたことを契機として，翌年から大阪市による水準点の増設と年１回の水準測量が行われるようになった。

このように，東京，大阪及びこれらの周辺では，早い時期から地盤沈下が発生するようになった。全般的には昭和10年代前半に最盛期を迎え，相当範囲の地域が年間数cm以上の沈下地域となった。その後，昭和25年頃（1950）から経済の復興とともに地下水使用量が急増するにつれて，再び沈下は激しくなり範囲も拡大した。昭和30年頃（1955）以降には，地盤沈下地域は大都市ばかりでなく，新潟（昭和30年～31年にかけて最大20cm以上沈下），濃尾（昭和40年代後半が最盛期），筑後，佐賀平野（昭和32年頃から始まり昭和40年代前半が最盛期）など全国各地において認められるようになり，多くの地域で年間最大20cm以上の沈下量が記録されている（図－１，図－２）。

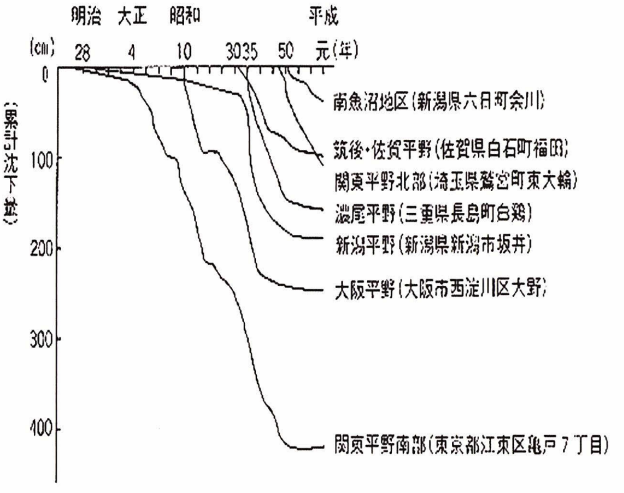
２．２．２　地盤変動地域の観測データ

日本列島は，地震発生，火山活動，プレート運動などの原因で地殻変動が繰り返し生じている。

地殻変動地域としては，過去の地震活動等から，今後大地震の起こる可能性が大きいと思われる地域などの他に，活構造地域や，最近地殻活動が活発な地域などがある。地震予知連絡会では，全国８カ所において特定観測地域（①過去に大地震があって，最近大地震がおきていない地域 ②活構造地域 ③最近地殻活動が活発な地域 ④東京などの社会的に重要な地域）として，また南関東と東海地方の２カ所において観測強化地域（異常が発見された場合に，更に観測を強化して異常を確かめる地域）として指定している。（図－４）



図－１　全国の地盤沈下地域（1973現在）



図－２　代表的地域の地盤沈下の経年変化

観測強化地域の東海地方や南関東では，毎年水準測量の繰り返し観測が実施され，特に東海地方の森・掛川から御前崎に至る路線は年４回の水準測量が実施されている。

御前崎地区では，1962年の観測値を基準に現在までの変動をみると，季節により数cmの上下動はあるものの，およそ20cmの沈降が見られる。（図－３）

南関東（房総）地方の地殻変動は，過去の水準測量の結果から沈下の傾向が見られる。館山付近で布良験潮場を基準としてその変動を見ると，観測が開始された1970年以降ほぼ一定の速度で沈下しており，その量は30年間で－14mm（年間－0.4mm）程度である。（大滝，2001）

特定観測地域では，全国的な基本観測の外に，その地区周辺で異常が発見された場合に，異常の有無の確認を行うために，迅速に水準測量が実施されている。

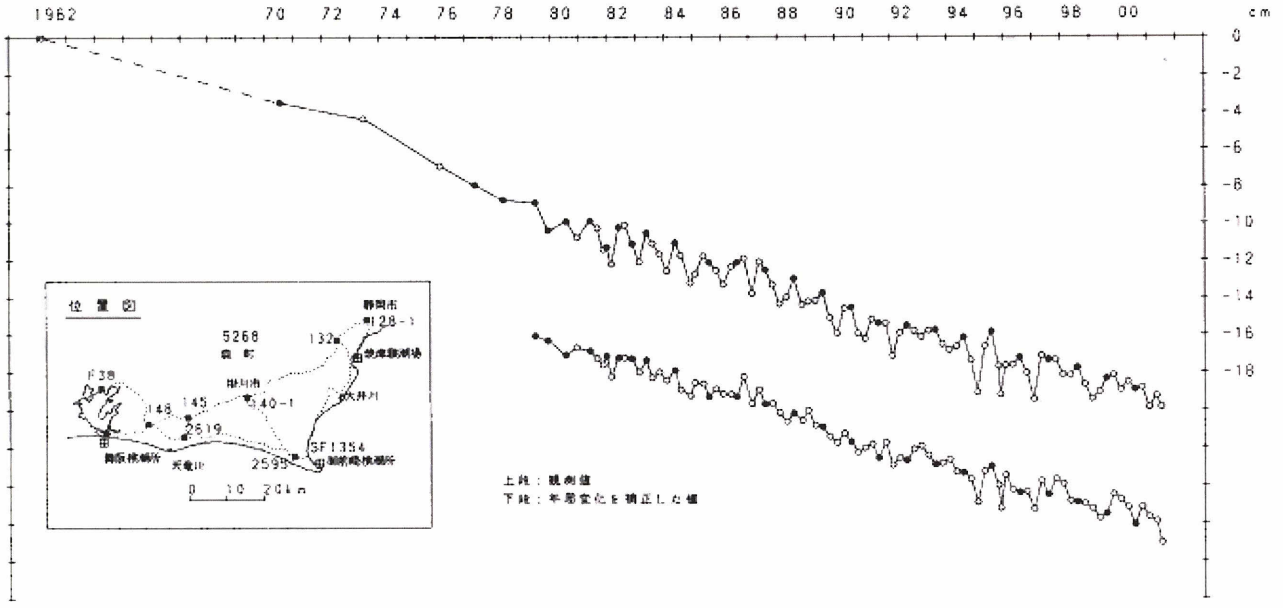
２．３　一等水準測量作業の変遷

２．３．１　水準測量観測器材の変遷

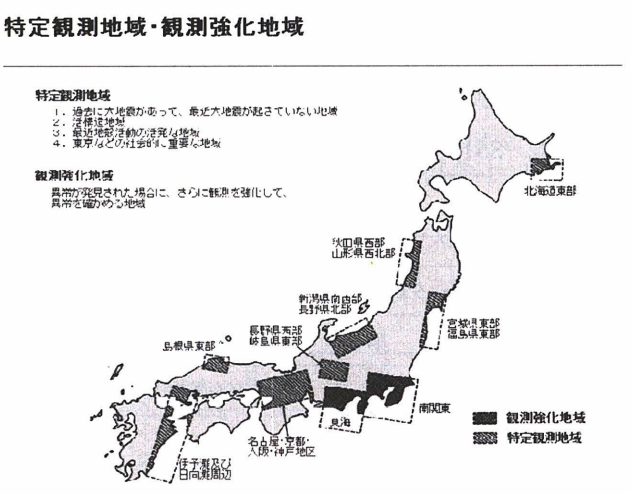
水準測量の主要な器材であるレベルは，大正13年（1924）までは一等レベルCarl Bamberg製のY型レベルを使用していた。標尺は木製標尺が使用されていた。大正13年（1924）から昭和27年（1952）までのレベルはCarl Zeiss製のⅢ型精密レベルが使用され，標尺はインバール製標尺となった。その後昭和54年（1979）までは，Wild N3が用いられ，昭和54年からはCarl Zeiss Jene製の自動レベルNi002が導入された。さらに平成６年（1994）からは電子レベル及びバーコード標尺が導入された。

２．３．２　観測法の変遷

観測当初から現在に至るまでに，観測機器の変遷とと



図－3　水準点２５９５（浜岡町）の経年変化



図－４　特定観測地域・強化観測地域

もに視準順序，読定単位，視準距離などの観測法も変わってきている。観測法は使用するレベルによって決められており，視準順序もCarl Bambergでは後視－前視でそれ以外のレベルが後視－前視－前視－後視の順序で行っている。読定単位ではCarl BambergとCarl Zeiss及び昭和35年以前のWild N3使用で0.01mm単位，それ以外のレベルで0.1mm単位となっている。また最大視準距離はCarl Bamberg及びCarl Zeissでは40m，Wild N3で50～60m，Zeiss Ni2及びZeiss Ni002で50m，その後のLeica NA3003及びZeiss Dini11では40mとなっている。

2．3．3 測量誤差の制限の変遷

往復観測の較差及び環の閉合差の制限も，昭和40年(1965）までは，往復観測の較差は1.5mm$\sqrt{2s}$以内，環の閉合差は1.5mm$\sqrt{s}$以内と定められていた。それ以降は，往復観測の較差が2.5mm$\sqrt{s}$以内，環の閉合差が2.0mm$\sqrt{s}$以内と定められている。

3．計算概要

3．1　網平均計算の方法

3．1．1　固定点

固定点は，日本水準原点１点とした。原点の標高値は，第１回では24.5000m，第２回目以降は関東大震災後に再決定された値である24.4140mとした。

3．1．2　使用したデータ

計算に使用した観測データは，表－１，２のとおりである。北海道・本州間は津軽海峡において第１回，第４回改測時に，九州・本州間は関門海峡において第１回，第２回改測時に渡海水準測量がそれぞれ行われているが，当時のデータがLAGSASに整備されてないことや渡海水準測量の精度を考慮し，その後に，青函トンネル，関門トンネル内おいて実施された直近の直接水準測量のデータを使用した。このように，北海道・本州・四国・九州を結合する渡海水準測量等の時期は全国の水準測量改測時期と対応していないものがある。

なお，北海道・本州間で1903年の渡海水準測量と1986年の直接水準測量の結果を比較すると約13cmの差異が生じている。

日本の最大地盤沈下値（約－4.5m　環境庁「全国主要

地域の地盤沈下」報告）である，東京都江東区の水準点のデータについては，観測時期の関係から，第１回改測時の計算では当該路線が含まれておらず，江東区の変動量が第１回と第８回では明確に比較できるデータが存在せず，結果として変動量が算出されてなかったため，平成13年度に，もっとも古い観測時期のデータを第１回改測として，この路線についてのみ平均計算を行い，江東区の沈下量を別途算出した。

表－１　使用した全国改測データの観測年

	計算に使用した全国改測データ観測年							
	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回
北海道	1900～1913		1952～1961	1968～1973			1980～1990	1987～1999
東北	1892～1906	1933～1942	1953～1959	1965～1969	1973～1975	1978～1981	1984～1987	1986～1999
関東	1883～1899	1924～1943	1950～1957	1961～1969	1972～1976	1977～1981	1980～1985	1991～1997
北陸	1888～1903	1921～1943	1948～1956	1965～1967	1971～1974	1976～1981	1982～1985	1989～1995
中部	1883～1904	1926～1942	1947～1956	1965～1972	1971～1973	1979～1980	1983～1984	1990～1998
近畿	1885～1899	1927～1934	1947～1951	1961～1973	1970～1976	1975～1980	1982～1984	1988～1995
中国	1886～1892	1927～1943	1948～1956	1964～1968	1967～1971	1970～1978	1981～1983	1986～1997
四国	1886～1897	1929～1939	1947～1950	1955～1965	1968～1973	1970～1980	1981～1985	1990～1995
九州	1890～1899	1932～1941	1952～1960	1962～1965	1968～1971	1975～1977	1981～1983	1987～1997
全国	1883～1913 (M16～T2)	1921～1943 (T10～S18)	1947～1961 (S22～S36)	1955～1973 (S30～S48)	1967～1976 (S42～S51)	1970～1981 (S45～S56)	1980～1990 (S55～H2)	1986～1999 (S61～H11)

表－２　使用した渡海水準測量のデータ一覧

	計算に使用した渡海水準測量データ観測年							
	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回
津軽海峡	1986(直接)		1986(直接)	1986(直接)			1986(直接)	1986(直接)
紀淡海峡	1947(渡海)		1948(渡海)					
明石海峡		1964(渡海)		1964(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	1995(渡海)
鳴門海峡	1948(渡海)	1948(渡海)	1948(渡海)	1955(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	1994(渡海)
芸予海峡	1948(渡海)	1948(渡海)	1948(渡海)	1964(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	1970(渡海)	
関門海峡	1952(直接)	1952(直接)	1952(直接)	1964(直接)	1970(直接)	1976(直接)	1982(直接)	1989(直接)
豊予海峡								1991(渡海)

３．１．３　重力補正

これまでの計算では，実際の重力値の代わりに地球の形から計算して求めた重力値（標準重力）により補正計算を行っていたが，今回の計算では，個々の水準点上の重力観測値が得られるようになったので，重力ポテンシャルによる補正を行って求める「正標高補正計算」を行った。

３．１．４　履歴補正

履歴補正計算とは，移転・再設点について新旧の標高変化量を補正する計算をいう。

LAGSASでは，移転関連のデータについてはこれまで整備されていたが，再設関連のデータが不完全であった。このため，再設点の新旧の標高変化量を計算し入力した。なお，一部の水準点については，標高変化量が算出でき

なかったため，今回の比較対照から除外した。

3．2　網平均結果

3．2．1　単位重量当たりの標準偏差

各回の網平均計算で得られた単位重量（1 km）あたりの標準偏差を表－3に示した。第1回観測の標準偏差は，3.5mmであったが，第2回以降順次数値が小さくなっており，第8回では1.3mmで，第1回の3倍程度精度が良くなっていることがわかる。これは使用した水準儀の性能が年々向上してきたこと，レフラクション誤差の影響の除去や標尺沈下の対策など観測手法の改良を積極的に進めてきたことにより精度が向上してきたものと考えられる。

表－3　単位重量当たりの標準偏差

	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回
総路線長（km）	18 542	12 458	15 684	17 902	14 088	14 809	18 081	17 521
標準偏差（mm）	3.5	2.5	2.8	2.0	1.7	1.5	1.5	1.3
観　測　年　度	1883 ～1913	1921 ～1943	1947 ～1961	1955 ～1973	1967 ～1976	1970 ～1981	1980 ～1990	1986 ～1999

3．2．2　交点の標準偏差

網平均計算では，水準網の調整計算で交点の標高を未知数として解く観測方程式が用いられている。したがって，水準点の調整標高の精度は，交点の標準偏差から求めることができる。表－4に交点の標準偏差を各地域ごとに示した。水準点の調整標高の標準偏差は，固定点とした日本水準原点から遠ざかるに従って大きくなっている。

第1回観測の最大値は，北海道，九州で8 cmとなっている。第2回以降の最大値は順次小さくなっており，第8回では3 cmで第1回の1／3程度である。

表－4　交差水準点の標準偏差の分布（単位:cm）

	北海道	東　北	北陸・関東	中部・近畿	中国・四国	九　州
第1回	6～8	3～5	0～4	3～5	5～6	7～8
第2回		3～4	0～3	3～4	4～5	5～6
第3回	5～7	2～5	0～3	3～4	4～5	5～6
第4回	3～5	2～3	0～2	2～3	3～4	4～5
第5回		1～2	0～2	1～2	2～3	3～4
第6回		1～2	0～1	1～2	2～3	3
第7回	2～4	1～2	0～1	1～2	2～3	3～4
第8回	2～3	1～2	0～1	1～2	2	2～3

3．2．3　環の閉合差

第1回から第8回改測までに構成された環の総数は，544環あり，そのうち閉合差の制限を超過したものは150環である。それの総数に対する割合は約28％である。この割合を環長100kmごとの範囲について調べると，100km以下の環では制限を超過したものは約9％，100～200kmでは17％，200～300kmでは28％，300～400kmでは36％，400～500kmでは26％，500～600kmでは32％，600km以上では46％となっている。これらの事実から，一般的に長い環ほど制限値を超える傾向になって

いる。

表－5は，各改測回ごとに環の閉合差から求めた観測値の標準偏差，環の閉合差が制限値を超過した数を示したものである。環の閉合差から求める観測値の標準偏差は，次式で求めた。

$$m = (1/n_p \cdot \Sigma (f_i^2/L_i))^{1/2}$$

ただし，

n_p：環の総数，

f_i：第 i 環の閉合差，

L_i：第 i 環の環長

環の閉合差から求めた観測値の標準偏差は，網平均計算から得られた1kmあたりの標準偏差とほぼ同じ数値であった。環の閉合差が最も多く超過した改測回は，第1回で34個であった。次いで多かったのは第3回で30個，その後は超過個数が減少し，最も少ない改測回は，第6回で11個であった。

表－5　環の閉合差から求めた標準偏差と環の閉合差制限超過の割合

	環平均路線長	環閉合差による標準偏差	環の総数	環の制限超過の数	制限超過の割合(%)
第1回	346km	3.1mm(3.5mm)	79	34	43.0
第2回	359km	2.3mm(2.5mm)	51	16	31.4
第3回	374km	2.6mm(2.8mm)	61	30	45.9
第4回	341km	1.8mm(2.0mm)	76	16	21.1
第5回	361km	1.7mm(1.7mm)	58	18	29.3
第6回	336km	1.4mm(1.5mm)	66	11	16.7
第7回	364km	1.5mm(1.5mm)	73	13	17.8
第8回	315km	1.2mm(1.3mm)	80	12	15.0

（　）内の数値は網平均計算による1kmあたりの標準偏差

4．水準測量網平均結果から求めた日本列島の地殻上下変動

各改測毎の計算結果より得られた標高から比較した過去100年間の日本列島の様子を，改測毎の上下変動図と併せて図－5～図－13に示す。またそれぞれの変動量から，年間変動量に推定したものを図－14～図－23に，各地方別の年間変動量の比較を表－6に示す。

4．1　日本列島の上下変動

過去100年間の日本列島の様子を（図－5）に示した。図から日本列島の上下変動は，広域的な変動域と局所的な変動域とが顕著に表れていることがわかる。広域的な変動の要因としてはプレート運動，造山運動に伴うものなどが考えられる。また，局所的な変動の要因としては，地盤沈下，地震，火山に伴うものなどが考えられる。日本列島の上下変動で，沈下が大きいところは新潟県新潟市の－2.2668mで地盤沈下によるものと考えられる。逆に隆起が最大であったのは千葉県館山市の＋1.6560mで関東大震災により隆起したものと考えられる。なお，日本の最大地盤沈下値（約－4.5m　環境庁「全国主要地域の地盤沈下」報告）である東京都江東区については，平成13年度に行った網平均計算で－4.4406mの値を得た。この結果は，環境庁の報告書の値と比較しても大差はなく，この地域の沈下量は環境庁報告書の値で問題のないことも判明した。

各地方別の年間変動量の比較を（表－6）に示した。年間の変動速度は，100年前頃から60年前頃まで約＋1mm/y隆起傾向である。その後，約－7mm/y沈下傾向となっている。最近10年間では，ふたたび約＋3mm/y隆起傾向となっている。

4．2　各地方の変動

4．2．1　北海道地方の変動

北海道地方の100年間の変動（図－5）は，根室半島から十勝平野および苫小牧周辺の勇払平野で大きく沈降しているのが特徴である。これは，プレート運動と地震および地質が関係していると推測される。上下変動量は，別海町で－1.935mが最大であり，この地方での平均が－0.1792mである。

年代別でみると，100年前頃（図－8）では，プレート運動によると思われる沈降が太平洋側で見られる。明治27年（1894）にはM7.9の根室沖地震や，昭和27年（1952）にはM8.2の十勝沖地震，さらに昭和36年（1961）に発生したM7.2の釧路沖地震などがこの地域で発生している。プレート運動による地盤の沈み込み量が，地震によって発生する隆起量より大きいためこの地域が沈降したとものと推定される。この時代の最大変動量は帯広の－0.3466mで，北海道全域の平均は－0.0286mである。

その後も，この地域は地震を繰り返しながら沈降を続け，最近10年間（図－13）では，平成５年（1993）に発生した釧路沖地震や，平成６年（1994）に発生した北海道東方沖地震などで，隆起が発生しているにもかかわらず，－0.0942mと沈下量最大を示した別海町を中心に知床・根室半島で沈降している。また，苫小牧周辺の沈降は，この地域の地質が泥炭地であることから，継続的な地盤沈下が生じており，さらに地震によっても変動しているものと推定される。

この他の地域でも，比較的おおきな地震は発生しているが，今回の解析結果には大きな変動として表れなかった。これは直接，水準路線に影響が出ていないためと推測する。

年間の変動速度をみると，過去100年間（図－14）では太平洋側が約－13mm/ｙの沈降傾向となっている。100年前頃（図－17）は，襟裳岬から根室半島にかけての太平洋側で約－８mm/ｙの沈降傾向にあり，30年前頃（図－22）は，北海道全体が約－15mm/ｙの沈降傾向にある。最近10年間（図－23）では，北海道全体が約＋７mm/ｙの隆起傾向のなか釧路から根室半島にかけては，約－12mm/ｙの沈降となっている。

４．２．２　東北地方の変動

東北地方の100年間の変動（図－５）は，山形周辺と男鹿半島で隆起，三陸海岸の太平洋側で沈降しているのが特徴である。これらの要因としては，三陸海岸はプレート運動，山形周辺と男鹿半島は地震に伴うものと考えられる。隆起の最大値を示したの所は山形県戸沢村の＋0.2943mで，沈降の最大値を示した所が宮城県石巻市の－0.6505mであった。

年代別で見ると，100年前頃（図－６）では，庄内平野，山形盆地周辺地域で最大＋0.1644mの隆起がある。これは明治27年（1894）に発生したM7.0の庄内地震の影響と思われる。また，秋田南部地域で沈降がある。これは明治29年（1891）に発生したM7.2の陸羽地震や，大正３年（1914）に発生したM7.1の秋田仙北地震などの影響と思われる。60年前頃（図－７）では，いわき周辺が沈降している。これは採炭の影響で地盤沈下していると推定される。その後，この地域での著しい沈降はなく，地盤沈下は沈静化に向かったと推定される。また，この間東北地方では，地震が多数発生しているが，特に今回の解析結果には大きな変動として表れなかった。

年間の変動速度をみると，過去100年間（図－14）では約－２mm/ｙで沈降傾向にある。100年前（図－15）は約－１mm/ｙの沈降傾向にあるが，その後，徐々に隆起傾向になり60年前（図－16）には約＋56mm/ｙと最大になる。その後，沈降が1990年頃まで続き，最近（図－23）では約＋１mm/ｙの隆起傾向にある。

４．２．３　関東地方の変動

関東地方の100年間の変動（図－５）は，房総半島，神奈川，三浦半島，長野地域がそれぞれ隆起，栃木，埼玉，東京，山梨地域で沈降しているのが特徴である。沈降の最大値を示した所は埼玉県栗橋町の－2.1947mで，隆起の最大値は千葉県館山市の＋1.6560mであった。変動の要因は，房総半島が地震，栃木，埼玉，東京，山梨地域は地盤沈下であると推定される。

年代別にみると，100年前頃（図－６）は，房総半島，神奈川南部は隆起し，東京付近以西，神奈川北方は沈降している。これは大正12年（1923）に発生したM7.9の関東大震災が影響していると推定される。また，40年前頃（図－９）の埼玉での沈降は，地下水の利用による地盤沈下と推定できる。30年前頃（図－10）では埼玉，栃木，千葉の地域において沈降しているが，これも地下水のくみ上げによる地盤沈下であると推定できる。25年前頃（図－11）では，栃木地域で地盤沈下が原因と推定される沈降があるが，ほかの地域での地盤沈下は沈静化に進んでいると推定される。最近（図－13）では，栃木地域の地盤沈下による沈降があり，房総半島東部では，昭和62年（1987）に発生したM6.7の千葉県東方沖の地震による沈降が推定される。

年間の変動速度を見ると，過去100年間（図－14）では，房総半島南部，神奈川南部が約＋17mm/ｙの隆起傾向であり，埼玉，栃木周辺地域が約－20mm/ｙの沈降傾向となっている。年代別では100年前頃（図－15）は房総半島，神奈川地域で約＋45mm/ｙの隆起傾向となっている。また，30年前頃（図－19）では埼玉，栃木，房総半島が約－170mm/ｙの沈下傾向となっている。最近（図－23）でも約－40mm/ｙの沈降傾向にある。

４．２．４　北陸地方の変動

北陸地方の100年間の変動（図－５）は，福井北部と新潟平野で沈降しているのが特徴である。変動の要因は福井北部が地震で，新潟平野は地震と地盤沈下と推定される。沈降の最大値を示したところは，新潟市の－2.2668mであった。

年代別に見ると，60年前頃（図－７）は，新潟平野において沈降している。新潟平野では，このときすでに地盤沈下が発生していることが推定される。また福井地方で大きな隆起と表れているのは，昭和23年（1948）に発生したM7.1の福井地震の影響と推定できる。40年前頃（図－９）では，昭和39年（1964）に発生したM7.5の新潟地震の影響と思われる沈降が新潟周辺で見られる。その後，30年前頃（図－10）には，地盤沈下の影響と思われる沈降がある。しかし，25年前頃（図－11）では，大きな沈降が表れていない。このことから地盤沈下が沈静化してきていると推定される。最近では大きな変動がない。

年間の変動速度でみると，過去100年間（図－14）で

は約－17mm/ｙの沈降傾向となっている。沈降の最大値を示したところは新潟市の－23.9mm/ｙであった。隆起の最大値を示したところは新潟県山北町の＋1mm/ｙであった。100年前頃（図－15）は約－1mm/ｙの沈降傾向にあるが，60年前頃（図－16）では約＋5 mm/ｙの隆起傾向になり，40年前頃（図－18）ではふたたび約－8 mm/ｙの沈降傾向になった。その後も隆起傾向は続き，最近は約－4 mm/ｙの沈降傾向となっている。

4．2．5　中部地方の変動

中国地方の100年間の変動（図－5）は，濃尾平野で沈降，中部山岳地域と伊豆半島東部で隆起しているのが特徴である。変動の要因は濃尾平野が地震と地盤沈下で，中部山岳地域がプレート運動による造山運動，伊豆半島東部の隆起は，昭和53年（1978）伊豆大島近海の地震以後活発化した伊豆半島東方沖の群発地震活動によるものと推定できる。100年間の変動で，もっとも大きく沈降したのは濃尾平野周辺で最大は愛知県港区の－1.7015mとなり，隆起は伊豆半島東部地域で最大＋0.8122mとなった。

変動を年代別に見てみると，100年前頃（図－6）では，岐阜周辺が沈降している。これは，明治24年（1891）に発生したM8.0の濃尾地震の影響と推定できる。60年前頃（図－7）では，昭和19年（1944）の発生したM7.9の東南海地震によるものと推定される沈降が紀伊半島から伊勢湾周辺で表れている。30年前頃（図－10）では，名古屋周辺で地下水利用の地盤沈下と推定される沈降が表れている。25年前頃（図－11）でも，この地域で沈降がみられる。しかし，その後の15年前頃（図－12）では，沈静化しているのがわかる。この地方には，他にも地震は多く発生しているが，今回の解析結果には表れなかった。

年間の変動速度では，過去100年間の平均値は約＋0.1 mm/ｙと小さい。最大は，30年前頃で約－12 mm/ｙであった。最近10年間では約＋2.3 mm/ｙの隆起傾向である。

4．2．6　近畿地方の変動

近畿地方の100年間の変動（図－5）は，大阪を中心としての沈下，紀伊半島南部での隆起が特徴である。変動の要因は，大阪地域が地盤沈下で紀伊半島南部がプレート運動と地震によるものと考えられる。沈降の最大値を示したところは，－1.1613mの大阪府都島区で，隆起の最大は和歌山県串本町の＋0.5606mであった。近畿地方の平均は－0.1217mであった。

年代別に見ると，100年前頃（図－6）では，昭和2年（1927）に発生したM7.3の北丹後地震の影響と思われる隆起が丹後半島で表れている。60年前頃（図－7）では，昭和19年（1944）に発生したM7.9の東南海地震と昭和21年（1946）に発生したM8.0の南海地震の影響と思われる沈降がある。40年前頃（図－9）では，紀伊半島南部で隆起しているが，東南海地震及び南海地震の余効変動と考えられる。また，この時期，大阪周辺で地盤沈下による影響と思われる沈降が表れている。その後，特に変動もなかった。しかし平成7年（1995）に発生したM7.2の阪神・淡路大震災の影響と推定される変動が出ている（図－13）。

年間の変動速度をみると，100年前頃の平均値は約－2 mm/ｙ程度である。その後は，紀伊半島での変動速度が沈降と隆起を繰り返しながら変動している。また，40年前および30年前で大阪付近が沈降傾向になっているのは地盤沈下の影響と思われる（図－18，19）。当時の最大を示したところは大阪府岸和田市で約－74 mm/ｙであった。最近10年（図－23）では約＋4 mm/ｙの隆起傾向にある。

4．2．7　中国地方の変動

中国地方の100年間の変動（図－5）は，瀬戸内海側で大きな沈降をしているのが特徴である。変動の要因は，南海地震（1946）によるものと考えられる。最大沈降量が－0.3323mの広島県三原市であった。地方全体の平均も－0.0378mの沈降傾向であった。

年代別に見ると，100年前頃（図－6）は島根地域で顕著な隆起がある。60年前頃（図－9）では鳥取地域と山口の一部で隆起が見られる。当時，この付近で大きな地震が発生していない。その後，この地方で顕著な変動は見られなかった。

年間の変動速度をみると，100年前頃から60年前頃にかけては隆起傾向で，その最大は60年前頃の＋6 mm/ｙである（図－16）。その後，沈下傾向になる。最近10前頃からはふたたび約＋2 mm/ｙの隆起傾向となる。

4．2．8　四国地方の変動

四国地方の100年間の変動（図－5）は，瀬戸内海側が沈降，太平洋側が大きく隆起しているのが特徴である。変動の要因は，瀬戸内海側が南海地震の影響で，太平洋側がプレート運動の影響と思われる。沈降の最大を示したのが徳島県徳島市の－0.3345mで，隆起で最大を示したのが高知県室戸市の＋0.7392mあった。全体の平均は＋0.0753mであった。

年代別に見ると，約60年前頃（図－7）では高知周辺が沈降，室戸岬で隆起している。これは，昭和21年（1946）に発生したM8.0の南海地震の影響と思われる。40年前頃（図－9）では太平洋側で隆起している地域がある。その原因は，東南海地震及び南海地震の余効変動と考えられる。30年前頃（図－10）に足摺岬付近が隆起しているのは，昭和43年（1968）に発生したM7.5の日向地震の影響と思われる。その後も地震が発生しているが，今回の解析結果には特に大きな変化として表れなかった。

年間の変動速度でみると，過去100年間（図－14）の平均値は約＋8 mm/ｙの隆起傾向であった。年代別では60

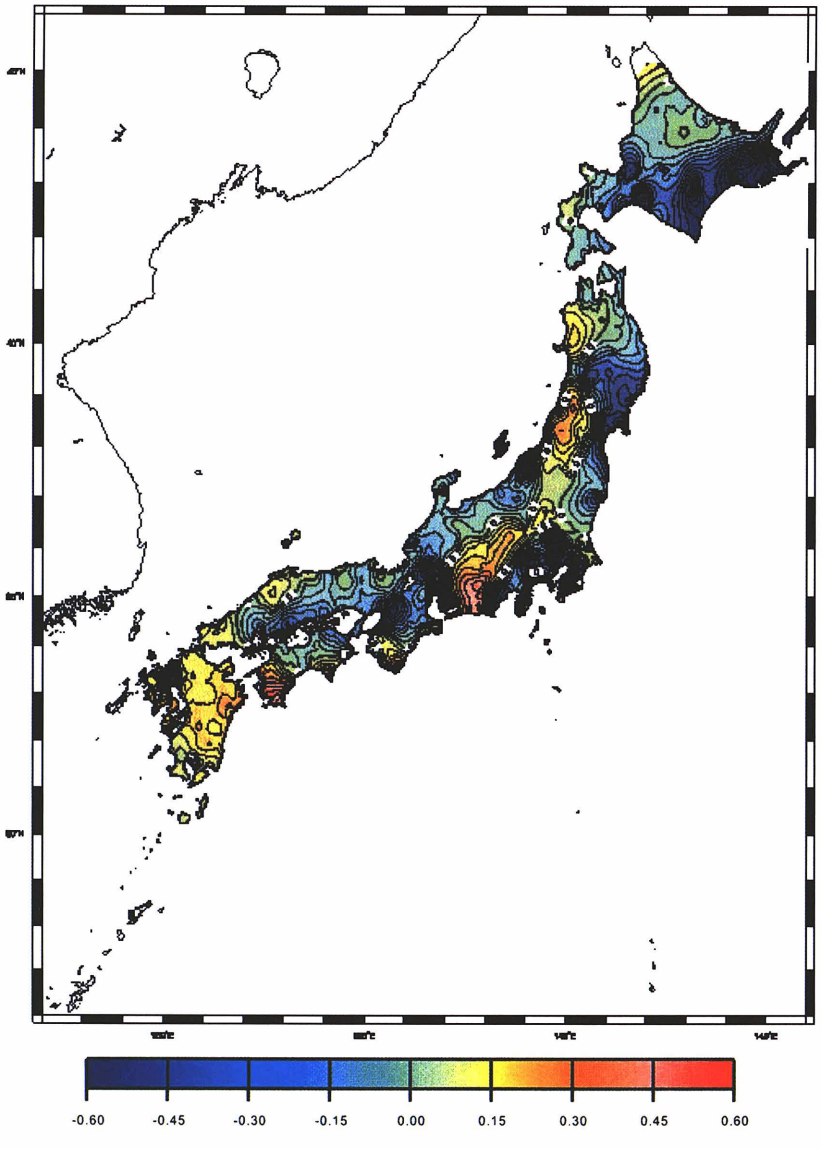
年前頃（図－16）は，室戸周辺が隆起，南国市周辺が沈降傾向であり，隆起の最大を示したのは高知県室戸市の＋57.8mm/y，沈降の最大を示したのは高知県南国市の－46.3mm/yあった。その後，大きな変動はないが，30年前頃（図－19）に足摺岬付近がやや大きな隆起傾向にあるのは日向地震の影響と思われる。最近10年（図－23）では，約＋4mm/yの隆起傾向であった。

4．2．9　九州地方の変動

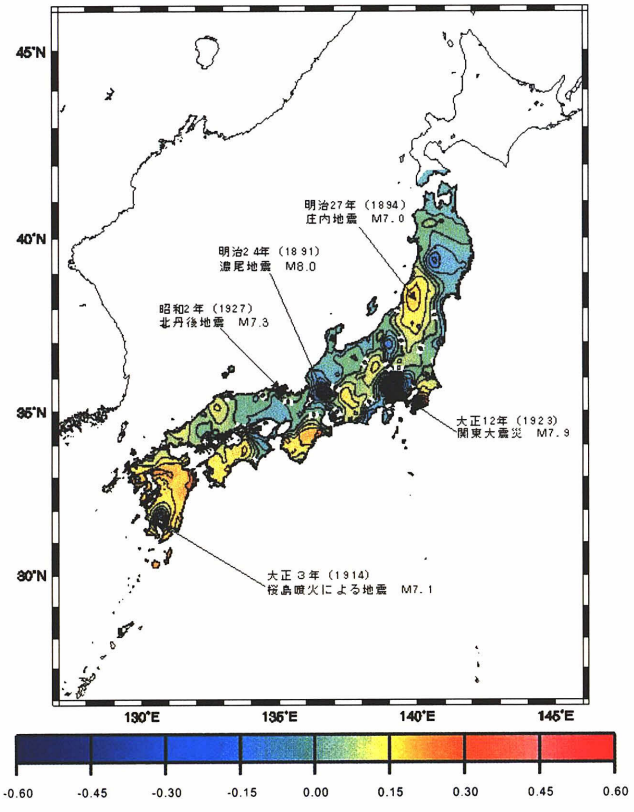
九州地方の100年間の変動（図－5）は，全体で隆起傾向のところ佐賀平野周辺のみ沈降しているのが特徴である。大きさは全体で約＋11cmの隆起傾向のところ佐賀平野が約－2m近く沈降している。沈降の原因は地盤沈下と思われる。

年代別に見ると，100年前頃の変動（図－6）では，鹿児島周辺地域が沈降している。これは大正3年（1914）の桜島噴火によるM7.1の地震の影響と思われる。このときの最大沈降量は，鹿児島市の－0.3441mであった。また大分県東部の隆起は，明治42年（1909）に発生したM7.6の宮崎西部の地震，昭和6年（1931）に発生したM7.1の地震と昭和16年（1941）に発生したM7.2の日向灘での地震が影響していると思われる。このときの最大隆起量が大分県津久見市の＋0.2658mであった。30年前頃の変動（図－10）では，佐賀平野全域で地盤沈下が原因と思われる沈降がある。この後も地震や地盤沈下は発生しているが今回の解析結果には特に表れなかった。

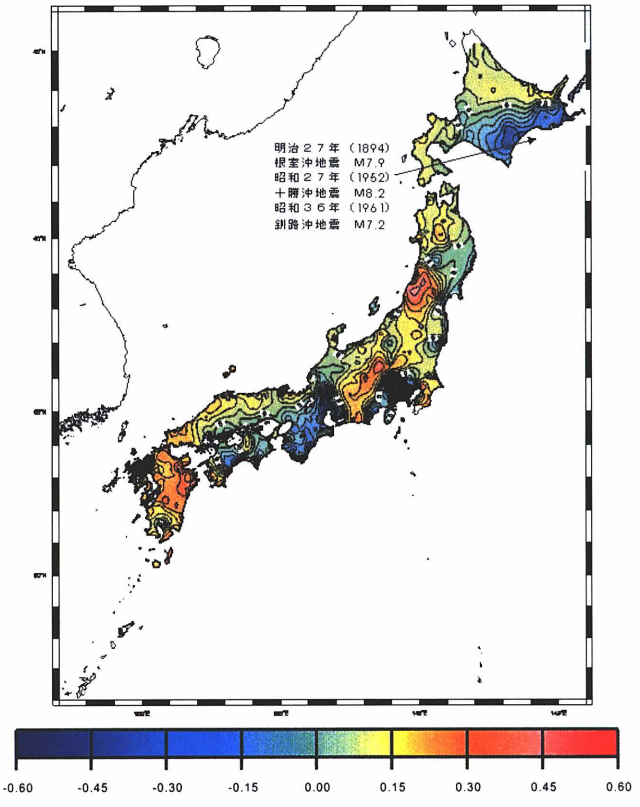
年間の変動速度でみると，過去100年間（図－14）の平均値は約＋1.2mm/yの隆起傾向であった。40年前頃（図－18）では鹿児島を中心に平均約－26mm/yの沈降をしている。この時代のみ変動速度が大きかった。最近10年（図－23）では，約＋5mm/yの隆起傾向であった。



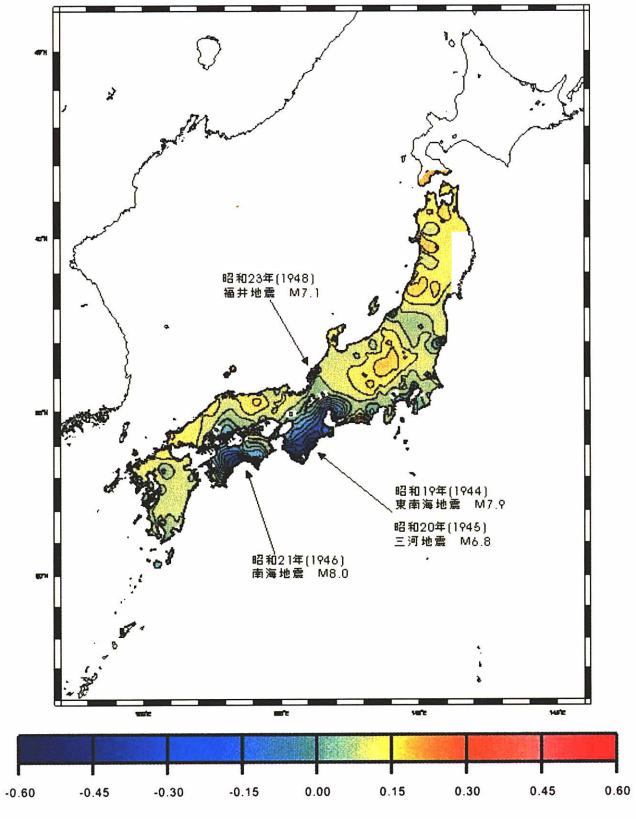
図－5　過去100年の日本列島の上下変動（第8回－第1回）変動図



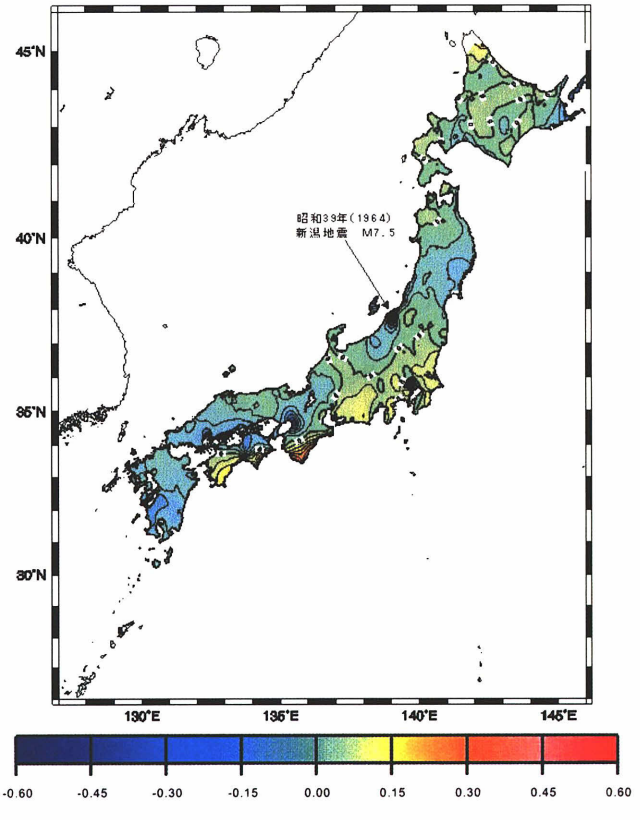
図－6　第2回－第1回変動図



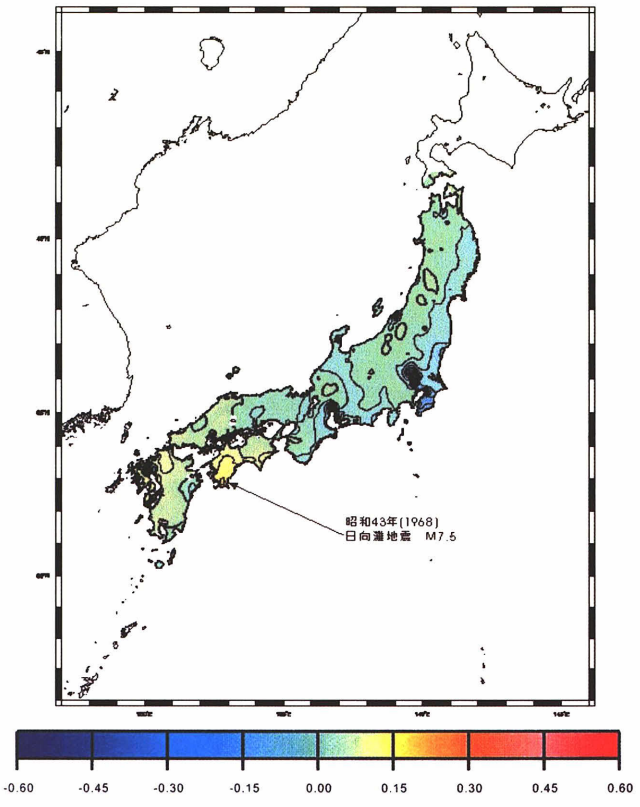
図－8　第3回－第1回変動図



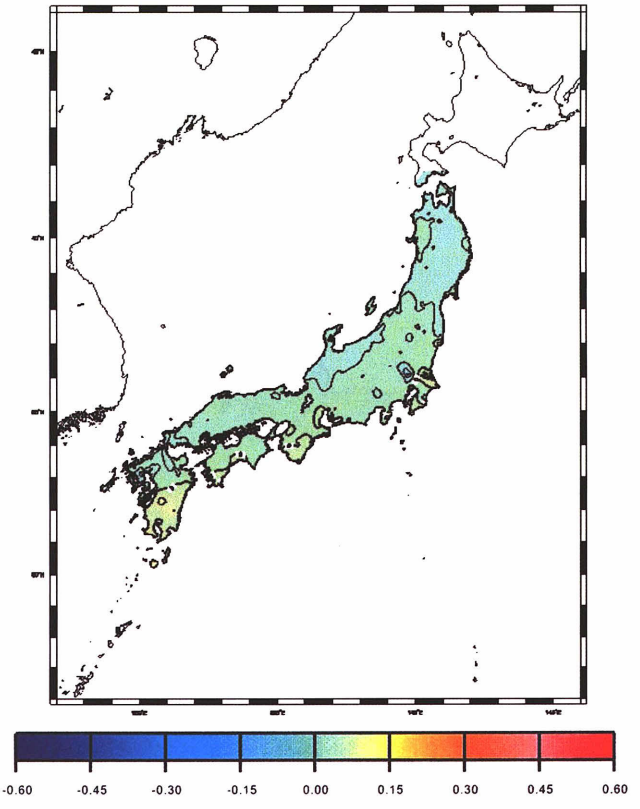
図－7　第3回－第2回変動図



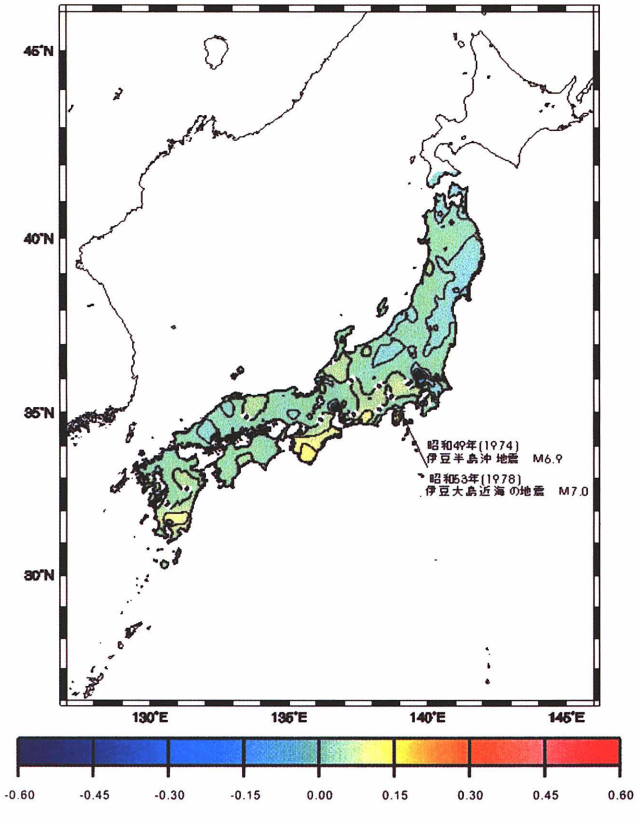
図－9　第4回－第3回変動図



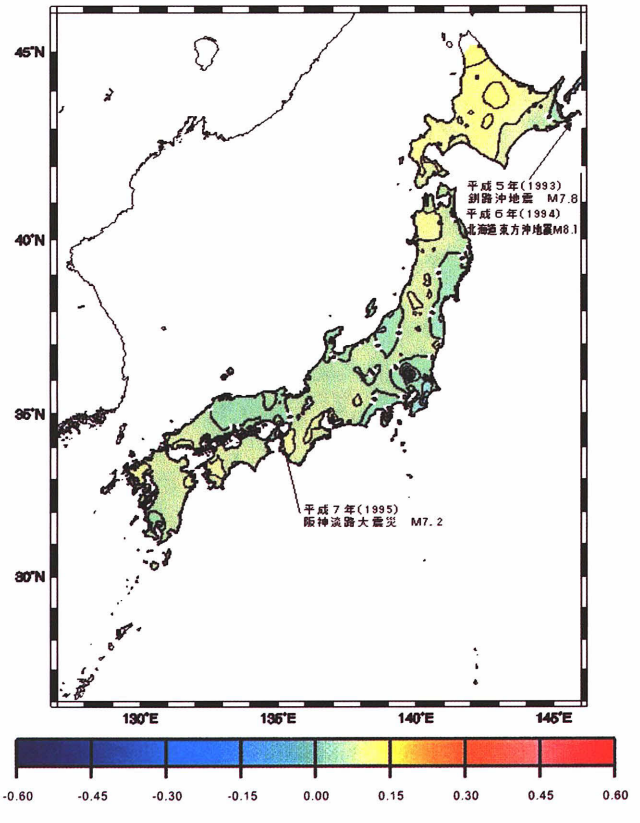
図－10　第5回－第4回変動図



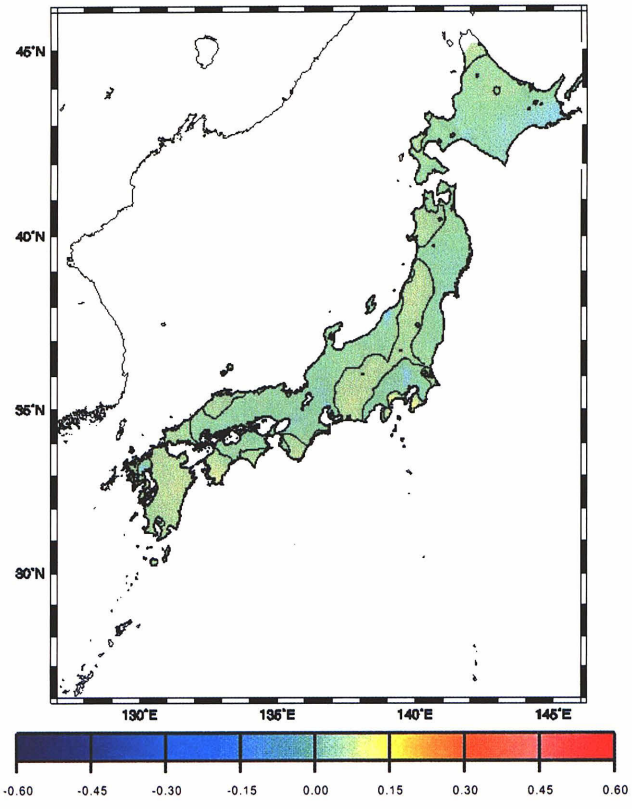
図－12　第7回－第6回変動図



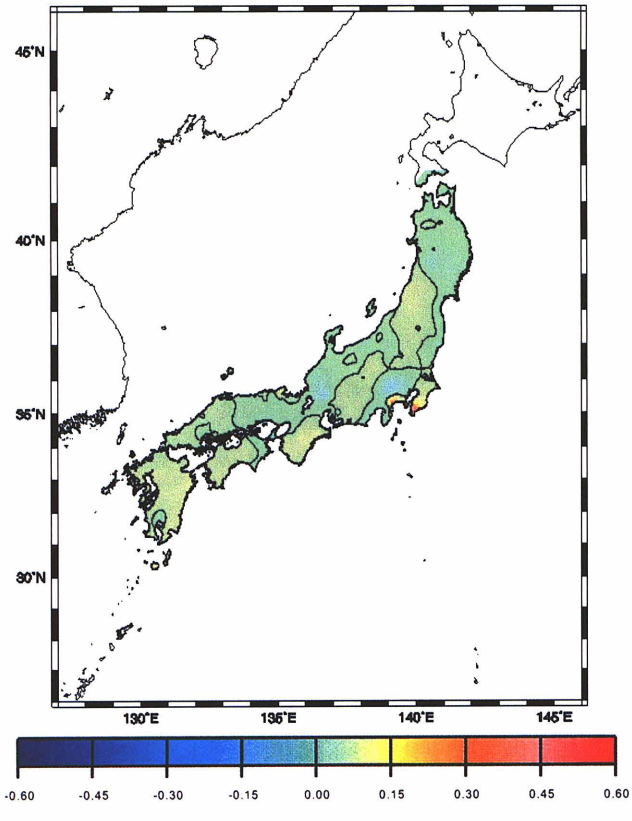
図－11　第6回－第5回変動図



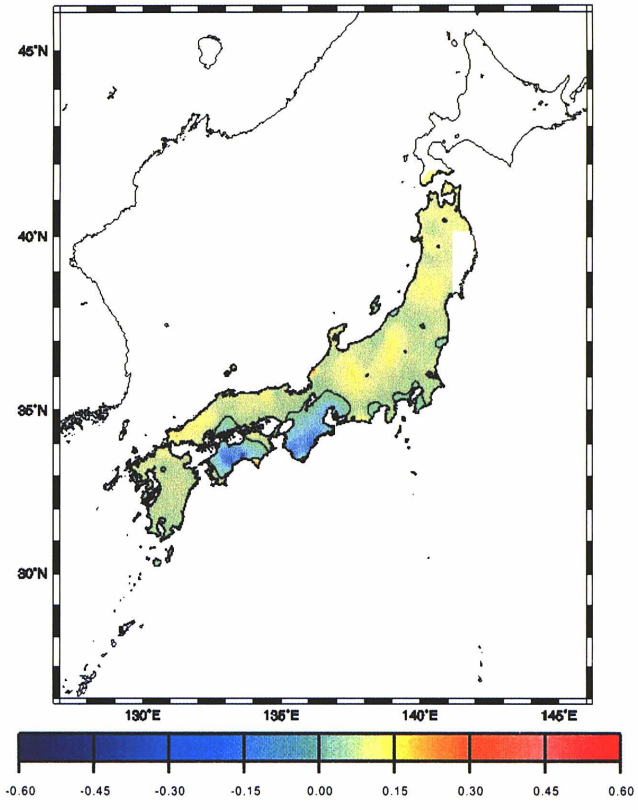
図－13　第8回－第7回変動図



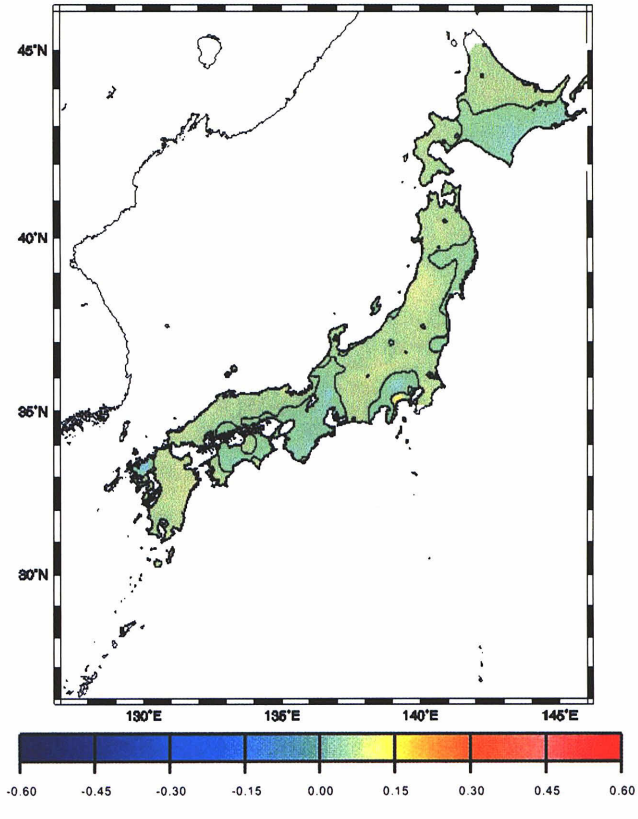
図－14　第8回－第1回年間変動量



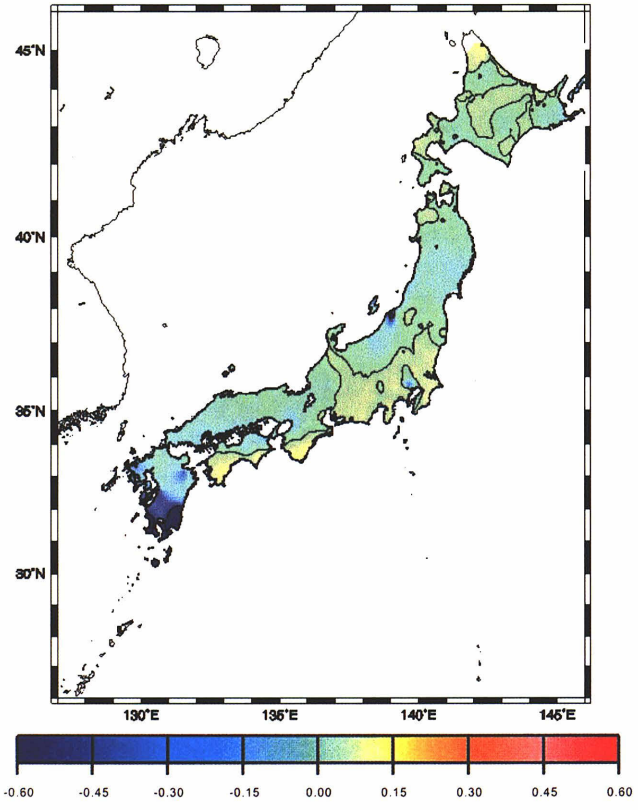
図－15　第2回－第1回年間変動量



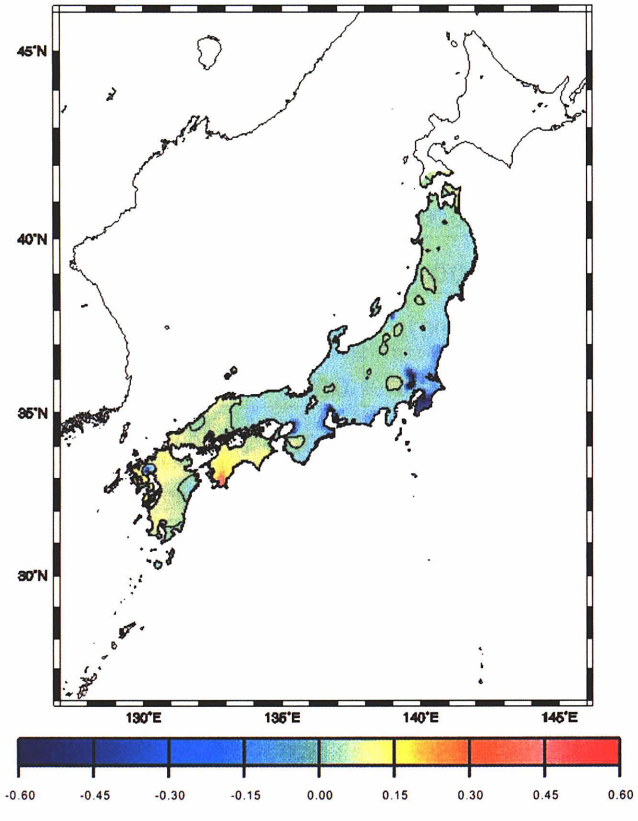
図－16　第3回－第2回年間変動量



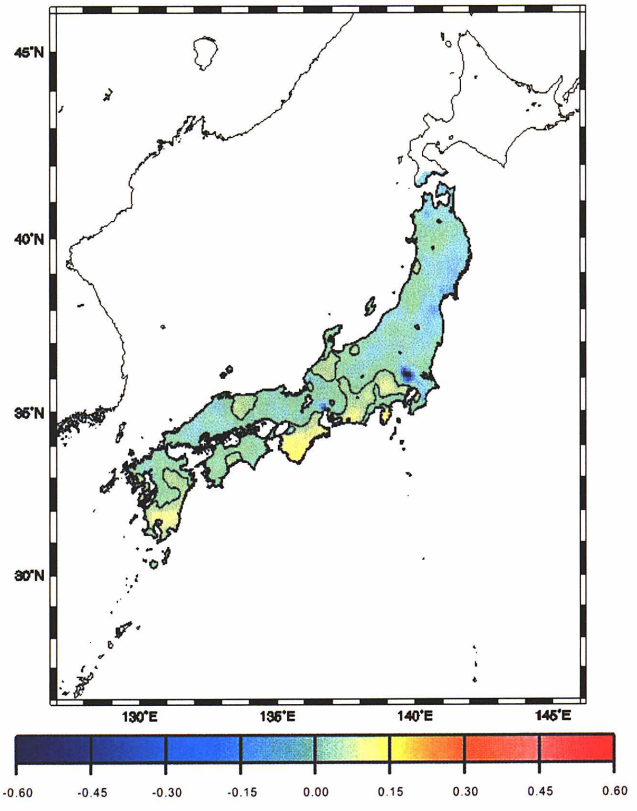
図－17　第3回－第1回年間変動量



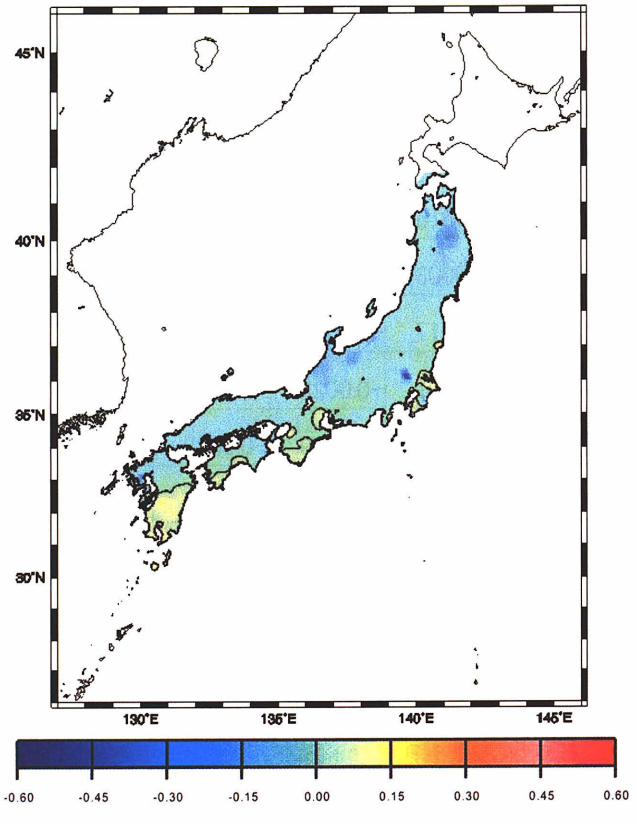
図－18　第４回－第３回年間変動量



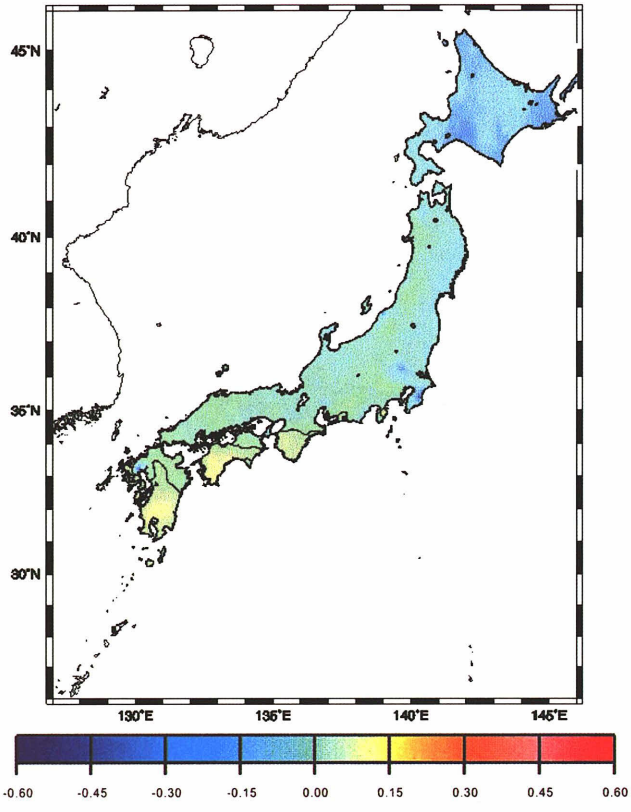
図－19　第５回－第４回年間変動量



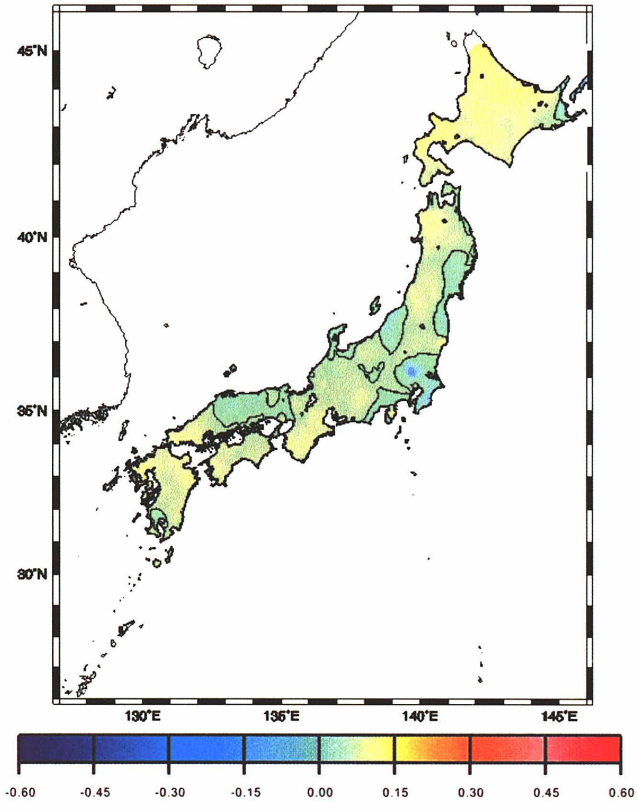
図－20　第６回－第５回年間変動量



図－20　第７回－第６回年間変動量



図－22　第７回－第４回年間変動量



図－23　第８回－第７回年間変動量

表－６　各地方別の年間変動量の比較

地域	第８回－第1回	第８回－第7回	第７回－第4回	第７回－第6回	第６回－第5回	第５回－第4回	第４回－第3回	第３回－第1回	第３回－第2回	第２回－第1回
北海道	−0.0021	+0.0066	−0.0157				−0.0003	−0.0007		
東北	−0.0015	+0.0013	−0.0078	−0.0123	−0.0087	−0.0054	−0.0037	+0.0016	+0.0056	−0.0012
関東	+0.0003	−0.0016	−0.0072	−0.0064	−0.0051	−0.0146	+0.0007	+0.0016	+0.0030	+0.0028
北陸	−0.0017	−0.0004	−0.0064	−0.0122	−0.0043	−0.0067	−0.0078	+0.0007	+0.0050	−0.0012
中部	+0.0001	−0.0023	−0.0046	−0.0548	−0.0003	−0.0120	+0.0011	0.0000	−0.0013	−0.0003
近畿	−0.0012	+0.0039	−0.0022	−0.0030	+0.0044	−0.0088	−0.0002	−0.0019	+0.0082	+0.0014
中国	+0.0003	+0.0018	−0.0038	−0.0097	−0.0031	−0.0001	−0.0060	+0.0015	+0.0062	+0.0003
四国	+0.0008	+0.0036	+0.0013	−0.0041	−0.0018	+0.0086	+0.0011	+0.0003	+0.0050	+0.0011
九州	+0.0012	+0.0048	+0.0005	−0.0034	−0.0007	+0.0044	−0.0256	+0.0030	+0.0031	+0.0031
全国	−0.0006	+0.0026	−0.0071	−0.0073	−0.0031	−0.0043	−0.0045	+0.0007	+0.0043	+0.0008

5．まとめ

今回の解析に利用したLAGSASは，平成10年に大型汎用機からワークステーションに移行したのに伴い，アプリケーションシステムとデータベースシステムを切り離し，必要に応じてデータを参照できるようなシステムに改良した。この改良によってデータを一元管理化することが可能になりインターネット上でも扱えるようになった。また，明治以来蓄積された水準測量の膨大なデータ

を，効率的かつ迅速に計算，解析することが可能になり網平均計算では，正標高はもちろん正規高，正規正標高についても求めることが可能になった。

今回の解析では，第１回観測から第８回改測までのすべての改測データを用いて網平均計算を行い，それぞれ得られた各水準点の標高値を比較し上下変動の検出を行った。網平均計算の結果では，第１回と第２回を比較すると標準偏差が小さくなり向上していることがわかる。第２回と３回では少し大きくなり，悪くなっているが第３回から第６回までは毎回，小さくなってきた。第７回では第６回より大きくなったが第８回では小さくなった。第１回と第８回を比較すると倍近く小さくなり，環閉合差の超過の数も少なくなっていることが判明した。

日本列島の100年間の上下変動の様子は，比較結果のデータを用いて描画ソフトを利用し色コンターで表したことで明瞭に確認することができた。変動の主な原因は，地震や地盤沈下の影響であることがわかった。年代別に見ると，関東大震災による首都圏での沈下や，桜島噴火による鹿児島湾での沈降などが，顕著に表れている。地盤沈下では各地方で沈降していることが顕著に表れている。また，北海道や東北地方の太平洋沿岸域ではプレート運動によると思われる変動，中部山岳域では造山運動と思われる変動が表れている。

年間の変動速度では，固定点とする日本水準原点の変動が明らかでないため日本列島全体での一定の方向性のある速度を求めることが出来なかったが，地域毎に年代別でそれぞれ比較すると，地震や地盤沈下の影響で一時期だけ，大きくなることがわかった。

今回の解析では，日本水準原点は関東大地震以後変動がないものと仮定して，各改測毎に全国の水準点の標高を求めたが，変動が無いとは断定できない。また，１点固定による網平均計算であったため網の規正が十分とはいいがたく，固定点から離れるにしたがって誤差が生じた可能性がある。また，本州と四国間については，渡海水準測量のデータで結ばれているため，渡海水準の精度から推定して10cm程度の系統誤差が含まれている可能性もある。

今後は，より精確な上下変動を検出するため，原点の変動状況の把握，多点固定法による網平均計算の検討なども調査研究していく必要がある。

6．おわりに

LAGSASと網平均プログラムの改良が図られたことで，過去100年間における水準測量データについて時系列的な解析が可能になり，その操作もLAN接続されたPC上で行えるようになった。このことによって膨大なデータを迅速に処理・解析できる状況になった。今後，様々な調査・研究に有効利用されることを期待する。最後に，LAGSAS開発，改良に携わった多くの関係者に感謝する。

参考文献

根本恵造・斎藤正：「水準測量データから求めた日本列島100年間の地殻上下変動」と東京都江東区地域の地盤沈下について　測地三課技術報告　平成13年6月22日
大滝三夫：「房総南部の地殻変動について」報告書　平成13年1月10日
斎藤正・成田次範：「LAGSAS及び網平均プログラム」測地三課技術報告　平成12年3月30日
一等水準測量観測年度図　国土地理院技術資料B1－No.16　平成8年10月
水準測量沿革誌　国土地理院　平成4年3月
測量学事典　測量協会　平成2年7月
測量・地図百年史　日本測量協会　昭和45年3月
測地学の概観　日本測地学会　昭和49年
地震とその予知　国土地理院パンフレット