

重力偏差の分布から見た鹿兒嶋灣

周圍の地下構造 (二)

松 山 基 範

緒言—重力偏差及びゲオイド曲量の分布—重力の強さの分布—主要地形の影響—地質摘要—地下構造—結論

一、緒 言

大正三年一月の櫻島火山の噴火は當時の活動力が猛烈であつた事ばかりでなく、其噴火の機構的關係を暗示する如き性質の現象の起つた事も亦其研究者の注意を引いた。噴火、後鹿兒嶋灣の北部が低下したのは其一例であるが、陸地測量部の精密水準測量の結果(1)によると櫻島の北方にある中の島では沈降二・六メートルに及んだ。其後水路部の測深の結果(2)によると櫻島の北方海底は一小部分に於て約六メートルの隆起を見た外は一般に沈降し、西岸に近い所では其量約四メートルであつた。噴火當時櫻島の東西兩側から多量の熔岩を噴出したのであるから、其爲に地下に壓力の減少を起し、其結果として地殻の沈降を來したと考へるのは最も自然的な事である。

當時噴出した熔岩の容積は小藤博士に従へば一・一四立方キロメートルである(3)。又大森博士によると熔岩、岩屑及び火山灰の總容積は二・二立方キロメートルである(4)。然るに地殻沈降の容積は約一立方キロメートルと推定(5)せられて居る。之から見ると尙地下に壓力の減少が償なはれ終ら

ずして、此爲めに更に地下で熔岩の移動が行はれて、再び噴火前の状態にかへる如き傾向を示すかも知れないと思はれた。而して實際に此の如き熔岩の移動が行はれるかどうかを突き止めるといふ事は當時一部の研究者の間に起つた希望であつた。普通此爲に用ひられる手段は精密水準測量を繰返して行ふ事であつて、當時陸地測量部は此の如き測量を行つたが、海岸附近に於て噴火の翌年二月までに平均六〇糎近い沈降が起つたのが、其以後は徐々なる復舊を始めて、大正七年十二月までに十一糎の隆起を示したのである(6)。

地下に於ける熔岩の移動は又其上に於ける重力野に多少の變化を來す可きであるから、此方面よりも研究を進める事が出来る筈である。現今重力野の僅かな變化を検出する最も精密な方法は重力偏差計を使つて重力ポテンシャルの第二次微分係數を測定する事である。幸に文部省測地學委員會の好意によつて私は同會の重力偏差計を使用する事を許され、鹿兒嶋地方に於て數年に亘り此測量を繰り返して行ふ事が出来たのであつて、此論文も其研究の一部分である。茲に謹んで同會に向つて感謝の意を表する次第である。

重力偏差計を以て測定する事の出来る量は重力ポテンシャルの第二次微分係數の内の重力比差とゲオイド曲量の二つである。茲に重力比差と呼ぶのは或一點とそれから水平の方向に一センチメートルだけ隔だつた點とに於ける重力の強さの差である。之は第一の點から見た時の第二の點の方位によつて違ふ値を持つて居るのが普通であるから、兩點の重力の強さの差が最大である時の方向と其の差とを併せ考へて比差と呼ぶのである。又ゲオイド曲量と呼ぶのはゲオイド面の曲率に關する

第一圖 鹿兒島地方に於ける重力比差及ゲオイド曲量の分布

重力偏差の分布から見た鹿兒島灣周圍の地下構造



縮尺：凡そ三十萬分の一 ベクトル：1ミリメートル= 15×10^{-6} c.g.s

特殊の量である。ゲオイド面上の一點に於て極大曲率を有する垂直切口と極小曲率を有するものとは互に直角である。其二つの切口の曲率の差に其の點に於ける重力の強さを乗じたるものが即ち曲量であつて、極大曲率を有する

切口の方向と併せて考へるものである。重力偏差計を用ひると之等の量を cgs 單位で小數位九桁の所まで精密に測れる。私の觀測の本來の目的は之等の量が年月と共に變化するかどうかを研究するにあつた。初の間は之等の量は一定の意味を有する如き規則正しい變化を示して居たが、其後に至り甚だ複雑な形勢を示した。此間に私は此地方に於ける重力偏差の分布を注意したが、全體の狀勢は地下に於ける斷層の伏在及火成岩の潛入を示す如きものであつた。以下述ぶる所は此の如き分布の地質學的意義に關する私の研究である。

一、比差及び曲量の分布

鹿兒嶋地方に於ける重力偏差の觀測は大正五年四月に始めたのであつて、此時鹿兒嶋灣周圍の平地で九箇所に於て觀測を行つた。其年の夏には櫻島、燃島をも加へ新に八箇所を増した。翌年夏更に七箇所を加へて總計二十四箇所で大正十一年までに八回の觀測を繰り返したのである。

重力比差もゲオイド曲量も共に地球の形狀の影響を受ける。地球が球狀であるならば形狀の爲めの比差及び曲量は共に零である筈であるが、實際に於て地球が回轉橢圓體であるから、それにより比差及び曲量を生ずる。之等の値は緯度によつて異なるものであるが、鹿兒嶋地方に於ては比差は北に向ひ其値は cgs 單位で 6×10^{-6} である。又曲量の値は同じ單位で 7×10^{-6} となり、ゲオイドの極大曲率を有する切口は南北の方向を有する。一般に比差及曲量の局所的偏倚を研究するには先づ其等の實測値から上述の地球が回轉橢圓形を有する爲に起る値をベクトル計算法に倣つて除き去るべ

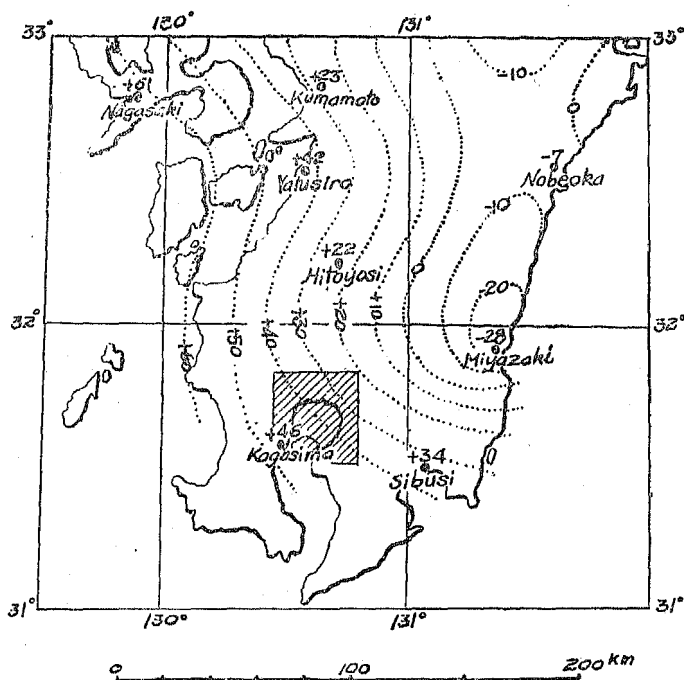
きものである。

此の如き計算を施した結果は第一圖に示した如くである。

此地方に於ける比差及曲量を注意して見ると、分布は地形と或關係を持つて居る。櫻島に於ては觀測點は島の畧中央の平坦な所に撰んだが、此點では比差も曲量も共に甚だ小さな値を持つて居る事が確められた。櫻島の北岸では比差 cgs は單位で 101×10^{-6} の値を有し南に向つて居るが、南岸では 116×10^{-6} で北に向つて居る。曲量は兩所共に略 130×10^{-6} の値を有し、其方向は櫻島火山圓錐の等高線に略並行して居る。鹿兒嶋灣の周圍の海岸に近い地點では比差は大抵海岸から奥地に向ひ、其値は 66×10^{-6} 乃至 60×10^{-6} である。曲量の方は此の如く簡單でない。灣の東北海岸にある二箇所では之等の値は 200×10^{-6} であつて、其方向は海岸に並行して居る。之等の地點は高原が急傾斜の崖をなして海岸に迫つた所にある事は注意す可きである。鹿兒嶋市の南には三箇の觀測點があるが何れに於ても曲量は比較的小さい値を有して居て、其方向は海岸に對し少し斜になつて居る。此事は尙後に述べる。之等の點を除けば、海岸に近い地點での曲量は一般に海岸に直角の方向に向ひ其値は 100×10^{-6} の程度である。

灣の北岸に臨む國分平野に於ける重力偏差の分布は特に注意に値する。此平野は其主要部と其北方に於て之に連る二個の廣い谷とから成るものと見る事が出来る。此平野の内で海岸に近い所では前述の如く重力比差は北微東に向ひ凡そ 60×10^{-6} の値を持つて居る。之から北に行けば其値が大きくなり、主要部の北端では 100×10^{-6} の値であつて同じく北方に向つて居る。然るに之から尙少し

く北に進むと比差が總て逆に向つて居る。即ち此間に畧東西に走る一の境界があつて、其南では比差が總て北に向ひ、其北では比差が總て南に向ふ如く二つの部分を區分して居る。而して比差は此



第二圖 九州南部に於ける重力偏倚の分布 (單位は 10^{-3}c.g.s.)

の不足を示し、西部及南部各地に於ては著しく過剰である。

境界に近い所で極大の値を持つて居る事は注意に値する。曲量は常に南北の方向に近いが、其値は同じく上記の境界に近い所で極大となり、 g s 單位で 180×10^{-3} に達して居る。

三、重力の強さの分布

日本の内地及び其の附屬島での重力の強さの測定は既に百十二箇所に及んで居る(7)。九州に於ては十三箇所の重力觀測點があるが、其値と地球の平均形狀に適する範式(8)で計算した同緯度に對する規範値との差、即ち所謂重力偏倚の分布(9)を見るに、太平洋岸では南方の志布志を除き其他に於ては重力

鹿兒嶋地方に近い所では四箇の重力観測點がある。鹿兒嶋市に於ける重力偏倚は毎秒毎秒センチメートルの單位にて $+0.046$ である。宮崎は鹿兒嶋市から東北約九十五キロメートルの距離にあつて、其重力偏倚は同じ單位で -0.038 である。東方五十五キロメートルの志布志、北方六十六キロメートルの人吉に於ては夫れ夫れ $+0.03$ 及び $+0.023$ の重力偏倚がある。之から此地方に於ける平均重力比差を計算すると、其値は cgs 單位で 8×10^{-6} であつて、方向は西南に向ふ可き筈である。或局所に於ける重力比差は地形及び地下構造の影響によつて其局所的偏倚を示すものであつて、多くは遠距離に於ける重力の強さから計算して出した平均重力比差とは全然異なつた状態を示すものである。現今の場合に於てもそうである。

ゲオイド曲量に就ては此の如き簡單な推究を試みる爲の材料がない。

四、主要地形の影響

此研究に關係ある地域は鹿兒嶋灣の内櫻島及び其北部と之を圍繞する陸地である。此地域内に四つの地形的區分を認める事が出来る。先づ鹿兒嶋灣は一の地溝であつて、東西の岸は懸崖によつて限られて居る。其北部に於ける深さは多くは百五十メートル位であるが、東北岸に近い部分は二百メートルの深さに達して居る。此灣は概して平坦なる灰砂臺地を以て圍まれ、其高さは多く二百乃至二百五十メートルである。海岸には所々に平地が出来て居る。即ち鹿兒嶋市の南の平地、帖佐村附近の平地、國分平野等である。以上の灣と高臺と平地の外に尙櫻島が一個の獨立した區分をなす

ものであつて、二百米の深さの海底から凡立して海面上一一三四メートルの高さに聳ね立つ錐體をなして居る。

重力偏差の觀測を行つた地點は數箇所を除き多くは平地の中に撰んだ。而して次に述べる所で明かである如く、地形の影響は距離の増加に伴ひ急速に減少して行くものであり、又此地方の各地形的區分の境界は比較的簡單であるから、地形の影響を考ふるに當つては此地方を簡單に海底と平地と臺地とから成る階段地であると見なし、其境は傾斜した平面であるとして取扱ひ、只個々の場合に就て特殊の注意を拂へば、其結果は著しく大きな誤りを含まないものとなる。

今平地と海底とを連ぬる境界平面の傾斜を λ とし、海の深さを h とする。そうすると海岸から x だけの距離で海面上 d だけの高さの地點に於て、此假想的地形から起る比差及曲量は次の式で表はれる。

$$\frac{\partial g}{\partial x} = + \frac{G(\sigma - \sigma_0)}{1 + \cot^2 \lambda} (L - 2T \cot \lambda),$$

$$g\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho_2}\right) = - \frac{G(\sigma - \sigma_0)}{1 + \cot^2 \lambda} (L \cot \lambda + 2T).$$

但し此中の L 及び T は次の式の代りである。

$$L = \log \frac{h^2(1 + \cot^2 \lambda) + 2h(x \cot \lambda + d) + (x^2 + d^2)}{x^2 + d^2},$$

$$T = \arctan \frac{h(x - d \cot \lambda)}{h(x \cot \lambda + d) + (x^2 + d^2)}.$$

右の式に用ひた記號の内 G は萬有引力の恒數であつて、其數値は cgs 單位で 6.658×10^{-8} である又 σ は海水の比重、 σ は陸地を形作る岩石の比重である。之等の量は共に x の方向にのみ起るものであつて、比差が正といふは海岸から奥地に向つて重力の強さが増加して居る事を示し、負であるならば其反對である。又曲量が正である時はジオイドの極大曲率を有する切口が海岸に直角の方向にある場合であつて、之が負である時は其切口が海岸に並行である事を示すものである。

さて鹿兒嶋市の南方に近い海は深さ僅かに約三十メートルであつて、海岸の傾斜は畧三十分の一である。帖佐及び國分の近くでは海の深さ百五十メートル、海岸の傾斜は八分の一位である。之等の地方で海岸から種々の距離に在る地點に於て海の爲めに起る重力偏差の値を計算して見ると次の如きものとなる。

h	$\cot \lambda$	距離(メートル)	0	50	100	200	500	1000	2000	5000
30	30	比 差 (10^{-9})	$+\infty$	0	0	0	0	0	0	0
150	8		$+\infty$	+5	+2	+2	+1	+1	0	0
30	30	曲 量 (10^{-9})	$+\infty$	0	0	0	0	0	0	0
150	8		$+\infty$	+53	+43	+32	+22	+14	+8	+4

實際に觀測を行つた點は大抵海岸から五百メートル以上の距離に撰んだのであるが、此表から明らかである如く此の如き場合の海の爲に生ずる偏差は何れも觀測から得た値に比して著しく小さい。

次に灰砂臺地の爲に平地の上の各點に起る重力偏差を計算する範式は上に書た海の影響を表はす式の中の h 及び $\cot \lambda$ に負の記號を附したるものと同じ形である但し此の時 σ は臺地を形作る岩石の比重 σ は空氣の比重 h は臺地の高さを指す事となる。而して鹿兒嶋市の

南方平地での觀測に影響を與へるかと思はれる臺地は平均の高さ百メートルであつて、側面の傾斜畧三分の二である帖佐村の平地に於ては南には高さ五百メートル傾斜三分の一の臺地を控へ、西は高さ百メートル傾斜同じく三分の一のものに連つて居る。國分平野は南は鹿兒嶋灣に臨むも他の三方は平均の高さ二百メートル側崖の傾斜二分の一の臺地で圍まれて居る。之等の臺地を形作る灰砂層の比重を二・〇と取つて計算すれば、之等の臺地の爲に其下の平地の各點に起る重力偏差は次の通りである。

h	cotλ	距離(メートル)	0	50	100	200	500	1000	2000	5000
100	1.5	比 差 (10^{-9})	+∞	+69	+35	+15	+4	+1	0	0
100	3.0		+∞	+31	+9	+3	+1	0	0	0
200	2.0		+∞	+78	+49	+27	+10	+3	+1	0
500	3.0		+∞	+68	+51	+38	+18	+9	+4	+1
100	1.5	曲 量 (10^{-9})	-∞	-222	-154	-97	-46	-25	-13	-5
100	3.0		-∞	-166	-120	-80	-42	-23	-12	-5
200	3.0		-∞	-208	-200	-135	-78	-45	-24	-10
500	3.0		-∞	-286	-234	-182	-120	-80	-49	-23

此場合には一般に相當に大なる影響を有し、殊に曲量に於て其値が大きく、臺地の崖の下から一キロメートルを隔てゝも尙著しき値を残すものである。併しながら此の時と雖も之を觀測の結果に比較すると遙に小さいものである。茲に注意すべきは曲量が皆負の記號を持つて居る事であつて、即ち極大曲率の方向が臺地の崖に並行になつて居る事である。前に注意して置た鹿兒嶋灣の東北海岸にある二箇所の場合は之によつて説明される。臺地の影響をあらはす等ポテンシャル面の其崖に並行する切口は直線である可きであるから、上記の結果は即ち之に直角なる方向の切口に於ては其等ポテンシャル面

が上方に向つて曲つて居る事を示すものである。

一般に観測によつて見出した比差及び曲量から地下構造を議論する爲めには、それから地形の影響を除き去らねばならぬ。此爲めには精確なる議論に於ては機械的積分の方法によつて地形の總ての凹凸に對する修正値を見出す事が必要である。併しながら今の場合に於ては觀測した結果は我々が周圍の地形から豫期し得るものに比較して甚だしく大きい。且つ又之に關係ある周圍の地形も比較的に簡單である。従つて海底、平地及び臺地を何れも平坦なる表面を持つて居るものとして取扱つても、結果に於て著しい誤りは起らないものと思ふ。少し注意して取扱へば此の如くしても結果に於ける誤りは比差に於て gcs 單位で 10×10^{-6} の程度、又曲量に於て凡そ其二倍の程度以内であると思ふ。

さて鹿兒嶋市の南には三個の觀測點がある。之等の點に於ける重力比差は互に畧並行であつて西南西の方向を指して居る。又曲量も畧互に並行であつて前記の方向に直角である、之等の點に於ける觀測値及び之に地形の影響に對する修正を加へた結果は次の通りである。

重力偏差の分布から見た鹿兒島灣周圍の地下構造

量

二五

番號	觀 測 點	距離(メートル)		觀 測 値		地形修正の結果	
		海岸から	臺地から	比 差	曲 量	比 差	曲 量
1	荒 田	800	2000	+41	-71	+45	-62
2	上 荒 田	1800	750	+51	-31	+55	-6
3	武	2300	400	+44	-21	+49	-28

此最後の結果は一般に取扱上起つた誤差としては大き過ぎるものである。従つて、地下構造に基因するものと考えねばならぬ。之と同様の状態は帖佐及加治

木に於ても認められる。帖佐村には二箇の観測點があつて、其東北四キロメートル程の加治木に於て更に一箇所がある。之等の地點に於ては比差は前述の場合の如く海岸から奥地に向つて居る外に曲差も亦海岸に直角の方向を持つて居た。之等の値及之から地形の影響を除き去つた結果は次の通りである

番號	觀測點	海岸からの距離 (メートル)	觀測値		地形修正の結果	
			比差	曲量	比差	曲量
4	松原	800	+60	+120	+59	+81
5	東原	1500	+31	+146	+31	+120
6	加治木	1500	+40	+40	+40	+24

最後に國分平野は上述の各平地より遙に廣い面積を持つて居るが臺地に圍まれて恰も馬蹄形をなし畧北二十度東の方向の對稱軸を持つて居て其北方に連る二つの廣い谷も畧此軸の方向に延びて居る。此平野の中にも幾分の高低はあるが多くは海面上十メートル以下である。此中に十二箇の觀測點を選んだが、前にも述べたる如く其結果は特に注意に價するものである。一般に比差も曲量も上に述べた軸の方向に畧近い方向を持つて居る。今各觀測點を海岸からの距離の順にならべ、其重力偏差の觀測値と地形修正の結果とを書き並べると次の通りである。

番號	觀測點	海岸から (メートル)	觀測値		地形修正の結果	
			比差	曲量	比差	曲量
7	村市	1250	+58	+96	+58	+47
8	之	1300	+65	+36	+70	+26
9	小濱	2350	+45	+84	+45	+39
10	福宮	4250	+60	+165	+88	+131
11	國向	4300	+8	+197	+85	+109
12	姫宮	4350	+109	+147	+109	+133
13	城丸	5700	+26	+128	-26	+177
14	弟城	5800	-86	+112	-38	+27
15	溫泉	6600	-46	+114	-45	+21
16	光寺	6650	-58	+112	-27	+13
17	道場	7100	-30	+77	-25	+4
18	松永	8450	-38	+139	-15	+1

茲にも亦最後の結果は甚だ大きな偏差が残り、且つ極めて系統的な分布を示して居る。此平野に於ける重力偏差の分布の特徴として、平野主要部の北端に於て考へらるゝ境界の兩側で比差が反對の方向を有する事、及び比差と曲量とが共に此境界の近所で極大の値を有する事を前に述べたが、地形の修正を加へた結果から之を益明らかに見る事が出来るやうになつた。此境界は即ち國分、向花、宮内の北方を通り、前に述べた平野の形の軸の方向に直角である。(未完)。

隱岐島後の火山岩に就て

(二)

春 本 篤 夫

四、第三紀以後に於ける噴出岩、岩床及び脈岩

1 輝石安山岩

以上述べたる基盤の上に行はれたる火山活動の最初のを代表するは安山岩なり。安山岩の分布區域は島の略中央にありて中村、山田及び原田を三頂點とする不規則なる三角形をなす。片麻岩及び第三紀層の上に乗り、一部分、流紋岩、粗面岩及び玄武岩によりて被はる。中村川下流附近に於ては大峯火山の基礎をなせり。東海岸に於ては布施、卯敷、及び大久附近に露はれ第三紀層及び片麻岩に乗り一部玄武岩によりて被はる。布施北方の海岸に於て、東方に傾斜せる綠色凝灰岩及び