

私の奉職している鹿児島地方気象台は予報センターとして予報・通信業務の面で他の測候所より充実している。観測業務の面では別にセンターにもなっておらず、規程上は各測候所と同一であるが、実務面ではラジオゾンデ、レーウィン、放射能等の観測(本年正月からは自記微気圧計も加わった)に加えて3基のウィーヘルト地震計、1基の強震計による地震観測があり、また桜島の袴腰分室ではきわめて不十分なながらも各1基の強震計、石本式速度計による地震観測を行っている等、かなり充実している。

さればにこそ、昭和30年10月13日14時53分に起きた今回の桜島噴火が、何等の前兆をもみせず突発したため、観測・調査に予前処置が全然とれなかったことと、噴火時に小雨が降り、密雲低くたれこめて桜島噴火の模様はどこからも見られなかったといってもよい程であったことの2つの絶大な悪条件に加うるに、噴火が日没前に起きたため調査員が桜島に着いたときには、はや夜となって十分な調査ができなかったこと等、諸種の悪条件が揃っていたにもかかわらず、事後何とか形のついた調査報告を出し得たのである。

この点、一般測候所よりは観測施設のやや充実した鹿児島地方気象台で桜島噴火を観測調査し得たことを幸福には存ずる次第であるが、一方ふりかえて考えればこの種の気象機器、地震計で行った観測・調査が何の役に立つのであろうかと疑問に思われる。極端にいえば、すでに起った噴火のエネルギーを測って何の役にたとうか? 聴域分布を説明し得ることが将来のために何の作用をなすのであろうか? 現地に生活している人が私達に要求していることは今の噴火は何時止むか、次の噴火は何時、何処で、いかなる規模で起きるかの予報である。すでに起った噴火のことは老人の昔話程度でよい。その人々の要求を満足せしめ、そして私達も得心するためには、火山の本態そのものを常時把握し、その動向を判定せねばならぬ。

この意味では私達が今回の噴火で行った観測調査はほとんど無意味なことばかりであった。悲しいかな、私達のウィーヘルトによる診察は糸脈拜見の程度でしかない。医師は体温計・聴診器・レントゲンによる診断がしたいであろう。私達は傾斜計・高倍率地震計・火口高温計等で常時の観測を行いたい。

恩師中村左衛門太郎先生はかつて「関東大震災の江東十万の霊を慰める為に毎日努力しているが、その効無きを恥づる。」と述べられた。私は調査の途次、桜島湯之に建てられている大正3年の「桜島噴火殉難碑」の前を過ぎるごとに、彫りつけられた文面の一部「測候所の言を信頼せし智識階級の者逃げ遅れて難に遭い………今後は理論を信頼せず、異常を認知せば未前に避難を用意するよう特にこの碑を建立す。東桜島村」を読んで、果し

て何時自信を持ってこの碑の建立者の迷をさますべき言を吐き得るものかと長嘆息する者である。

次表は今回の噴火当時の気象資料の一部である。

13日 15時 26分

高度 (m)	風 向	風 速 m/s
100	N	2.0
200	WNW	2.0
300	N	1.0
400	ENE	2.0
500	ENE	5.0
600	ENE	5.0
700	ENE	3.0
800	NE	3.0
900	ESE	4.0
1,000	SE	4.0
1,100	ESE	7.0
1,200	ESE	5.0

13日 16時 05分

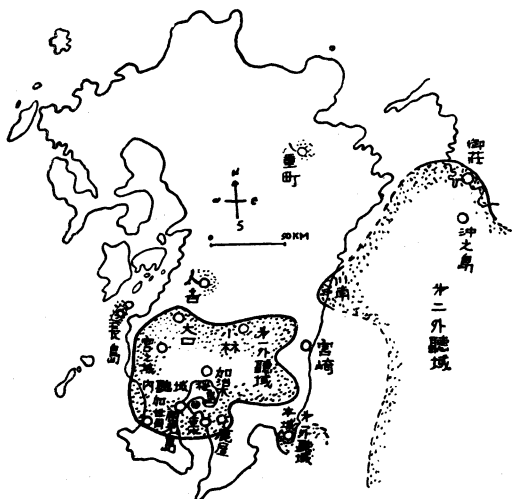
高度 (km)	風 向	風 速 m/s	計算音速 m/s	気 温 °C
1.0	ESE	5.0	340	16.7
2.0	SE	8.0	337	10.3
3.0	SE	12.0	335	9.7
4.0	S	6.0	333	5.2
5.0	SW	11.0	330	-0.2
6.0	SW	13.0	326	-7.0
7.0	W	15.0	322	-14.0
8.0	W	19.0	317	-21.7
9.0	WNW	17.0	311	-30.2
10.0	WNW	32.0	306	-35.7
11.0	WNW	33.0	303	-41.0
12.0	(W)W	(14.0)30.0	299	-45.8
13.0	(W)WSW	(21.0)19.0	294	-53.1
14.0	(WNW)W	(29.0)28.0	290	-59.3
15.0	(W) W	(29.0)21.0	287	-64.2
16.0	(W) —	(21.0)—	284	-70.5
17.0	(W) —	(32.0)—	284	-71.4
18.0	(W) —	(24.0)—	288	-66.0
19.0	(WSW)—	(27.0)—	291	-62.2
20.0	—	(18.0)—	294	-58.7
30.0	(WSW)—	—	315	-27
35.0	—	—	320	-11
40.0	—	—	340	5
45.0	—	—	350	32
50.0	—	—	380	91
55.0	—	—	400	133

(括弧内は12時00分の値)

(i) 聴 域

噴火の爆発音の聴域は第5図に示す。

内聴域の大体は長径約70kmの楕円状をなし、爆発音源たる桜島はその楕円の中心ではなく、円の中心の南々東10kmぐらいに位している。外聴域は桜島の北東方から南東方にかけて桜島から70km~250kmの間に2段ないし3段に存在している。また桜島より約70km離れて北方の人吉、北西方の長島あたりに外聴域とは確言できないが外聴域らしいものがある。北方の大分県の一部でも音響を聴いたとの報告があったが、これは報告者自ら



第5図 聴域

附近の鉾山の発破音ではないかと述べられているが如くここを外聴域とすることには疑問がある。

内聴域と外聴域の間は無声域となっているが、桜島の北東方と東方には、一番近い外聴域が存在して、これが内聴域に連絡しているために一見内聴域がその方向に延伸しているようにみられる。

この複雑な聴域は、ラジオゾンデおよびレーウィンによる高層気温、風向速測定値から大体説明できる。

実測気温は20km高度までであるから、その上方にゴワンの推定値(天文と気象1月号・須田建氏)をつぎたし、音速を $20\sqrt{T}$ (T は絶対温度)で略算したものが最初の表に記してある。

音速 v_1 の層から v_2 の層に水平面と θ_1 の角度で入射

した音波は θ_2 の角度で屈折し、 θ_2 は

$$\frac{v_1}{\cos\theta_1} = \frac{v_2}{\cos\theta_2} \text{ で求められる。}$$

最初の表から、風を無視して概観すれば、地上音速 v_0 として、高度 z kmの音速 v_z は

$$v_z = v_0 (1 + az)$$

ただし地上より成層圏底15km高までは

$$a = -0.01$$

15kmより30kmまでは

$$a = +0.005$$

30km以上は $a = +0.001$

で示されることがわかる。 a が均一であれば、上式で求めた音の経路は円弧をなすはずであるが、桜島の噴火口たる1km高より上では a が均一でないために簡単な計算はできない。

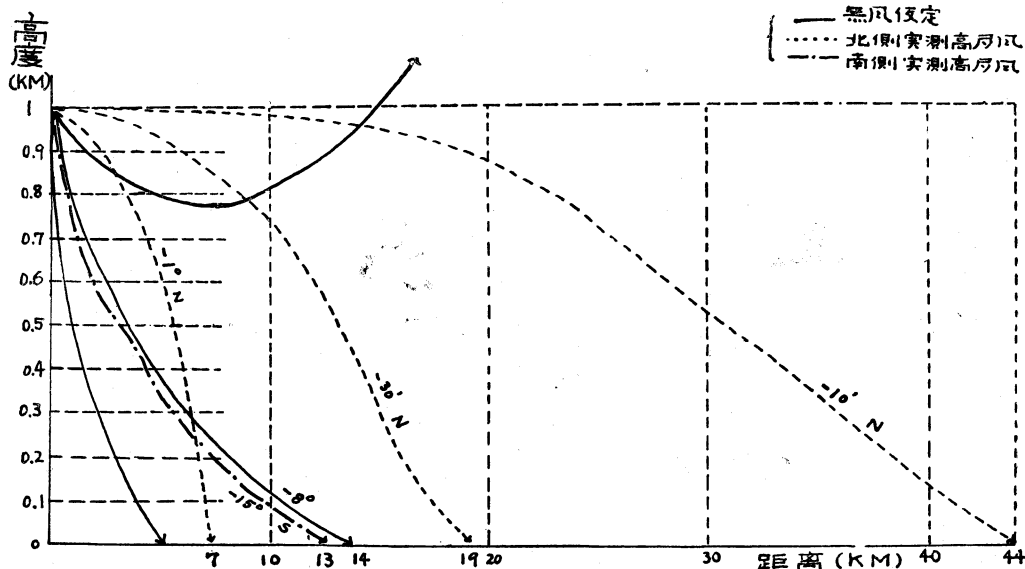
噴火口より下方では a が均一であるから、水平から下方に θ_0 の角度で出た音波が円弧をなして地面に切するまでの距離 E は

$$1(\text{km}) = \frac{1}{a \cos\theta_0} (1 - \cos\theta_0)$$

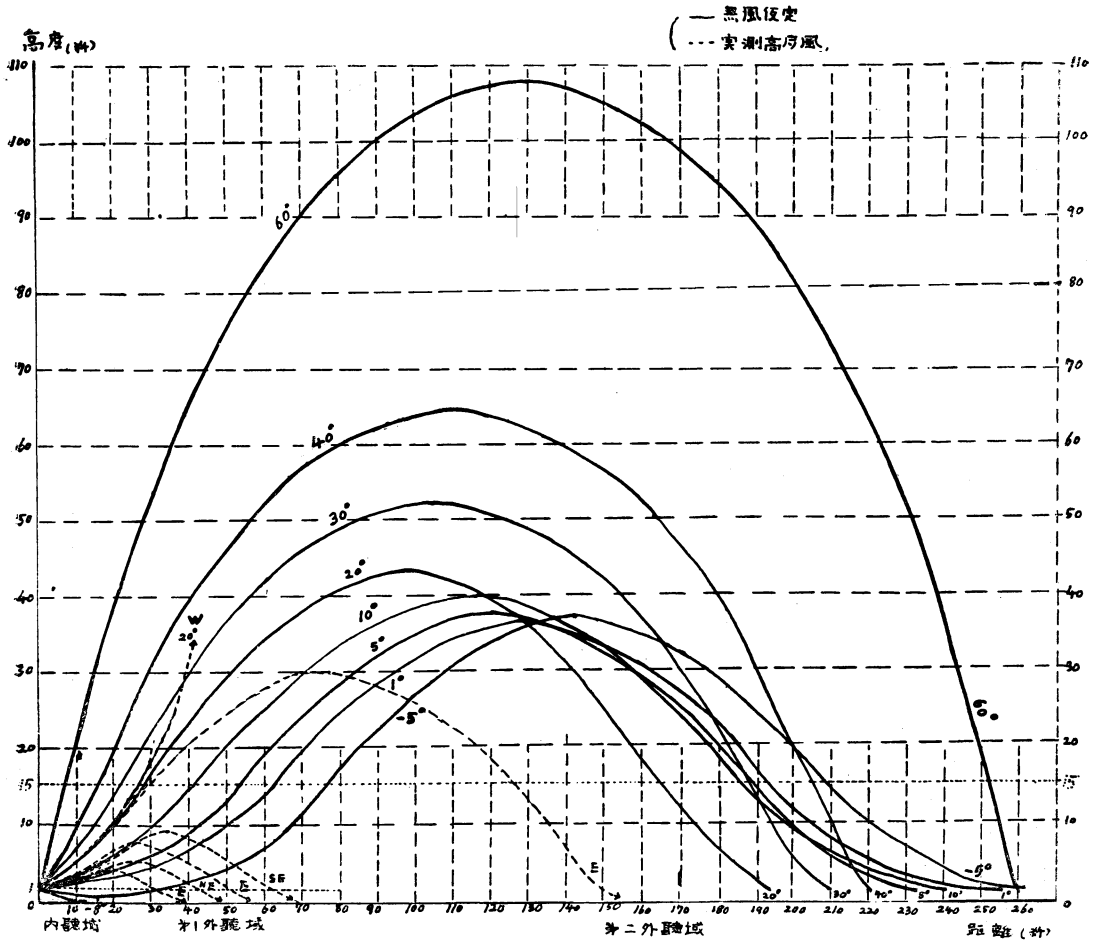
$$E = \frac{1}{2} \left\{ \frac{2}{a} \tan\theta_0 \right\}$$

の両式から $\theta = 3^\circ$, $E = 14 \text{ km}$ が得られ、各経路を計算。作図したものが第6図の実線である。これは風が無ければ噴火口から下方に水平と 8° 以上の角度で出た音は地面に達するが、それ以下の角度のものは地面に達せずして空中に逃げ、この種の音波の最大地上距離、すなわちこの種の内聴域半径は14kmとなることを示す。

噴火口から上方に水平と $1^\circ, 5^\circ, \dots, 60^\circ$ の角度で出た音の経路は第7図の実線で示すがごときもので、地上



第6図 下方音波経路



第7図 上方音波経路

より 15km 高までは上に凹、15km 高以上は上に凸の経路をとり、成層圏内で下方に反射され、大体 200km より遠いところで地面に降りて、中心から 200km 以上の半径の環形が外聴域となるべきことがわかる。

以上は風を無視したために、計算聴域は実測聴域と随分異なったものになっているので、こんどは実測風速を用い、各方向につき

$$\frac{v_1}{\cos\theta_1} + (1 \text{ 風速のその方向の成分})$$

$$= \frac{v_2}{\cos\theta_2} + (2 \text{ 風速のその方向の成分})$$

で略算したものをを用いて、経路を補正しよう。

上層音速が下層音速より大きいと音波面は下方におしきげられるようになり、音の入射角によっては下方への反射がおきる。逆に上層音速が下層音速より小さいと音波面は上方におしきげられるようになる。

桜島の南方向……射出俯角 8° のものは音波面が上におしきげられて地面に達しない。俯角 15° のものが第 6 図鎖線で示すように地面に 13km の距離で切る。もちろん俯角 15° 以上のものはすべて地面に達する。水

平以上に射出されたものは、大体第 7 図実線と同じ経過をとり、地上到達点が遠距離なるため、外聴域はできない。

桜島の北方向……射出俯角 1° のものは音波面が下方におしきげられて約 14km の所で地面に達し、10' のものは約 44km の所で地面に達すること、第 6 図の点線で示すがごとくである。俯角がそれより小さいものももっと遠方に達するはずであるが、距離による減衰の他に射出角の小変化による距離の延長差の大きいことを考えると、音波の到達密度からみてその聴域は無視してよからう。なお水平上 3° 以下の射出角のものもずっと遠方で地面に達するが、1km 高と 2km 高の間の風の息が少し強かったり、温度に小変化があるともっと近くに音波が降りる可能性があり、人吉・長島の外聴域めいたもの存在はこれによるものかも知れない。水平上 3° 以上で出たものは、北方向で述べたと同じ事由で外聴域はできない。

桜島の西方向……水平以下に出たものは第 7 図とほとんど同じ。水平以上に出たものは高層の強い西風で波面

がおしあげられ、第7図でみられる以上に経路が上向きになるから、外聴域はできない。

桜島の北東方向……水平以下に出たものは西方向と同じである。水平以上 8° の射出角で出た音波は第7図の点線で示すごとく、3.5~4.5km高の間で3m/sぐらいの風の息の差により下方に反射され、50km 前後の距離の所で地面に到達する。この層で反射されずに上昇した音波は数10kmの高層に達するまでは反射されないから、この層による外聴域はかなり遠所に現われる。この50km ぐらいの距離に現われる聴域は内聴域の延伸ではなく、外聴域の短縮とみるべきであろう。

桜島の東方向……内聴域は前と同じである。水平上 8° の音波は3.5km高あたりで反射されて地面に40km ぐらいの距離で到達し、 15° 前後のものは6km~6.5km 高あたりで反射されて地面に55km ぐらいの距離で到達する。 20° 以上の角度のものは成層圏まで上昇してから反射される。しかし超成層圏の強い西風により音波面が下向きにされるから、これによる外聴域は割合近くに現われるだろう。

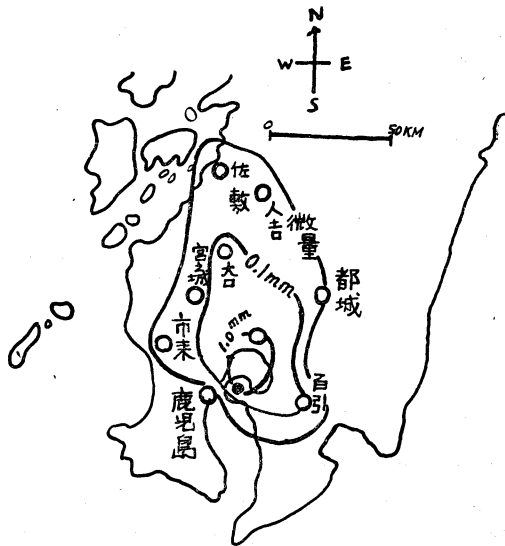
桜島の南東方向……内聴域は南方向とほぼ同じである。8km 高までの間は音波面をおしあげる作用はなく、9km 高前後の北西風により音波の反射が生ずるのであるから、この方向では内聴域と最初の外聴域とが大体分離されるであろう。さらに超成層圏内の反射による外聴域は東方よりも遠距離に現われる。

もう一つ考える必要があるのは廻折による直達波による聴域で、これは音源が強いために20~30km ぐらいの所までのびたものと思える。この通常音波と直達音波の合成されたものが内聴域になったものと考えれば、音の減衰が特に強かったようにみえる点、たとえば火口から南7kmの海溝では人々が家からとびだしたほどの大音響だったにもかかわらず、12kmの垂水では気がつかない人がいた程の小音響だったこと、10km 西方の鹿児島島の強大爆発音にもかかわらず、30kmの吹上では特別静かな所の人だけが聴いたほどの弱さであったことなどが説明される。

総括して、今回の噴火当時は風向・風速の高さによる変化が大きく、かつ悪天気で雲が多かったため、聴域は複雑な貌を示し、前述内聴域の外側に4km高、6km高、9km高等の高度における反射による外聴域が現われ、これらが雲の存在や風の息等によって方向によりいくつかが連結せられ、さらにその外方に超成層圏内の反射による外聴域が東方では10km以上、北東方・南東方では150km以上の距離に現われ、エネルギーの強さによって大体250km以上まではおよばなかったとする実測高層気象資料による計算聴域が大体実測調査聴域に一致すると言ってよいと思える。

(ii) 降灰域と噴出高度

1956年4月



第8図 降灰域

10月13日の噴火にはかなり多量の降灰を伴った。各地よりの報告を総括すれば、第8図のごとき降灰域図を得、灰の厚さと面積より計算すれば、降灰総量30~40万噸が算出せられる。一方降灰分布の慣用式として、中心から l なる距離の地の降灰量を Q 、中心における降灰量を Q_0 として

$$dQ/dl = -kQ \dots Q = Q_0 e^{-kl}$$

なる式があるので、これに Q_0 としては精密に測定されて信用し得る値たる桜島北西部の西道の1.5mm厚、宮之城の1.0mm厚の値を代入し、 l としては灰は風向に左右されることを考慮して分布が中心に対称になるよう垂直軸を傾けて西道では4km、宮之城では25kmと採った値を代入して方程式をとけば

$$Q_0 = 0.34 \text{ cm}, k = 2.37 \times 10^{-6} \text{ が得られる。}$$

灰の実測は1.2であるから、

$$\begin{aligned} \text{総量} &= 1.2 \times \int_0^\infty 2\pi l \cdot dl \cdot Q = 1.2 \times \frac{2\pi Q_0}{k^2} \\ &= 4.6 \times 10^{10} \text{ グラム,} \end{aligned}$$

すなわち総量として46万噸が得られ、これは大体前出推算値に合致した値である。なお参考としてこの式に垂直軸の傾斜を考えずに西道では $l = 5 \text{ km}$ 、宮之城では $l = 40 \text{ km}$ と地図どおりにとれば、総量として135万噸を得る。第8図を見ても、この量は實際量の3~4倍の値を示すべきであることは明瞭であろう。

降灰時刻の大体判明している個所について、前出高層風資料と照合してみる。

最遠北北西の湯浦は経過時間約140分で距離80km、これは秒速10mとなり、大体3km高の南東風12m/sに近い。

北西40kmの宮之城では経過時間85分で秒速8mとな

り、これは2 km 高の南東風 8 m/s に一致する。

北東方の最遠 50 km の高原では経過時間 65 分で秒速 13 m となり、これは 5 km ~ 6 km 高の南西風 11 ~ 13 m/s に相当する。

北方 15 km の加治木では経過時間 35 分、これは秒速 7 m で、大体 4 km 高の南風 6 m/s に、北北西方 20 km の蒲生では経過時間 45 分、これは秒速 8 m で、大体 1.5 km 高の南東風 8 m/s に相当する。

降灰時刻がわからないが、百引、垂水の辺りは東ないし南寄りの風で西・北の方に流れたものが落下の途中下層の北風や西北西風に押されて落下したものと思われ、そう考えることにより桜島南方の降灰が範囲が狭く、かつ鹿児島市にほとんど降らなかった事由が説明される。

噴火時の噴煙頂はどこからも見られていない。しかし噴火時の噴煙が地上高度 6 km 以上に達したとは考えられない。もし噴煙が 6 km 以上の高度にまでおよんでおれば、6.5 km 以上の高度の西風に乗って降灰区域はもっと東方に拡がるべきである。まず噴煙頂は地上 6 km (火口より 5 km) と定めてよかろう。

(iii) エネルギー計算

13日の噴火当時の地震動最大振幅は、桜島の袴腰の石本式で約 1,400 μ 、鹿児島地方気象台のウィーヘルト式で 439 μ 、宮崎のウィーヘルトで 12 μ であった。これらを用いて地震観測法にのっている坪井博士の地震の大きさ M を求めるとそれぞれ 5.9, 5.6, 4.8 となり、これからさらにグーテンベルグ公式によりエネルギーを求めればそれぞれ

$$1 \times 10^{22}, 2.5 \times 10^{21}, 1 \times 10^{20} \text{ erg となる。}$$

坪井公式は数百キロメートル以上の距離において適用されるべきものであり、震源から 4 km, 10 km の袴腰、鹿児島に適用して得た上記の値は当然過大であり、宮崎の値ですらも距離が 70 km なる点からみてやはり若干過大であろう。熊本以北の地震計には無感であったため、正確なことはいえぬが、まず地震動のエネルギーは 10^{19} erg ぐらいと考えられる。

火口よりの噴石距離の実測に落体法則を適用することにより、13日の噴火時の噴出初速度として 110 m/s が得られ、ベルヌーイ式を適用すれば噴出初圧として 140 気圧が得られる。(参考としてここに記すればその後の爆発中最大のものの一つであった昭和31年1月25日の噴出初速は 70 m/s、噴煙高度は地上 3,300 m であった。) 桜島火山内の噴石分布の調査から、海上に落ちた分まで補足推定すれば噴石総量は約 10 万トン、灰の噴出量 40 万トンを加えて $E = \frac{1}{2} (\text{総量}) \times (\text{速度})^2$ を計算すれば、エネルギーとして 3×10^{19} erg が得られる。実際には噴出物中には噴出した水蒸気量、空気量も算入すべきであろう。

噴出初温度は推定されていないが、かりに叢林に落ち

て発火せしめた赤熱噴石の状態からこれを 400°C とし、140 気圧 400°C の水蒸気と空気の混合気体が臨界温度 374°C までは乾燥断熱、それよりは湿度を増し、飽和後は湿潤断熱で地上 6,000 m の高度に達してラジオゾンデ値のごとく $\frac{1}{2}$ 気圧零下 7°C になったものとするれば混合比は大体 1 であり、直径 100 m の火口から毎秒約 6.4 万トンの蒸気が噴出したこととなる。噴出が何秒、何分続いたかは不明であるが、短時間ではあったらしいから 10 秒とすれば、64 万トン、20 秒とすれば 12028 万トンとなる。

すなわち噴出物によるエネルギー計算値は大体 10^{20} erg として大過ないであろう。

今回の噴火のごとく、新火口の形成でなく前からの活動火口内で起った噴火では、噴出エネルギーと地震エネルギーの比が 10 : 1 ぐらいになるのは妥当だと考えられる。

桜島は今なお連続して小噴煙をあげ、2 日、3 日おきに大量噴煙を出して爆発している。この爆発機構が究明され、爆発が予報されうるのは何時の日であろうか？

お詫び

編集委員の不馴れに加えて、本の体裁、形式などがまだ定まらないため、編集が行きとどかず、そのため、投稿者各位ならびに会員諸君に対して、種々御迷惑をおかけ致しております。あたたかい会員諸君の御批判、御指摘をいただき、出来るだけ間違いのない、内容が豊富で読みよいような「天気」を編集しようと心掛けております。

どうか、これからもよりよい「天気」にするため、有益な御忠言を賜わるようお願い致します。

訂正

第3巻第2号

* アート写真 第3図右

左図とエコーの分布が大体同じように見られる角度 (90° 左廻りに廻転させる) が正しい。

* 中川吉雄氏論文中

47頁 第2図 図が裏返し。

第3図の3 上下がさかさま

(180° 廻転させる)

第3巻第3号

* 飯田、谷内氏の解説

「南半球の気球」は「南半球の気象」

が正しい。