

[理研報告, 58, 67~73, 昭 57 (1982) 別刷]

宇宙線観測用電離箱仁科型2号の改修

三原 勝・高橋一郎・大森弘亨
後藤栄一郎・今井加代・和田雅美

理化学研究所

351 埼玉県和光市広沢2-1

技 術 報 告

UDC : 523.165+621.317.71

宇宙線観測用電離箱仁科型2号の改修*

三原 勝,** 高橋一郎,** 大森弘亨,**
後藤栄一郎,** 今井加代,*** 和田雅美,***

1982年4月14日(昭和57)受理

電離箱のガス洩れ箇所の改修を行なった。溶接作業のため、アンブロイド製絶縁物を全部はずした。すでに40年を経たものである上、取りはずしにさいしての破損もあり、取り替えた。新絶縁物にダイフロンを選んだが、その圧縮特性を測定し、使用に耐えることを確認した。電離箱内の補償電流を、ガス圧および補償放射線強度の関数として測定した。それらの経過と結果を報告する。

I. はじめに

仁科型電離箱⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾は1936年より同型5台を理研工作部で造り、現在、東京板橋(5号)、乗鞍岳(1号、東京大学宇宙線研究所)、高知(4号、高知大学理学部)、香港(3号、香港中文大学)で宇宙線強度連続観測に用いられている。高知はもと2号であったが、1980年2月ガス洩れがあり、たまたま観測中止中の札幌⁽⁵⁾にあった4号を直送し、同年5月観測を再開した。この2号を理研工作部で修理した。

ガス洩れはガス注入口の破損によるので、その部品を新しくした。その溶接にさいし、アンブロイド製の絶縁物をはずす必要があった。すでに40年以上経過し、質

の劣下が考えられたこと、および50気圧近いガス圧のもとに長期にわたりテーパ部にくい込んでいたため、取りはずし時の破損があったことから、造りなおすこととなった。アンブロイドに代わるものとしてダイフロンを選んだ。実際の形状と使用状態で50気圧に耐えることを実物大のもので試験し、確かめた。

電離箱は純アルゴンを30~50気圧つめて用いる。そのガスつめの過程において、ガス圧と補償電離電流の関係をしらべた。補償電流は内部に封入した放射線源の強度を機械的に調整することができるので、これをパラメータとして測定した。

電離電流測定方式を数年前にデジタル化⁽⁶⁾したが、この方式による補償電流測定と資料処理を行なった。以上について以下の章にのべる。

II. 仁科型電離箱⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

1. 全体構造

第1図に電離箱の断面を示す。ガス圧50気圧に耐えるため、電離箱の外壁は肉厚6.4mm、外径26cmの鉄筒に同厚の半球部を溶接してある。前面は取りはずし可能な、厚さ3.2cmの円板フランジである。銅パッキンで密封のため太いボルト12本で締める。図にしめてないが、前面からパイプで導いた圧力計が直結されている。

(6) WADA, M., IMAI, I., IMAI, K., KAWASAKI, S., KUSUNOSE, M., and CHUANG, L. S.: *Nucl. Instr. Meth.* (投稿中)

* Reconstruction of Cosmic Ray Ion Chamber, Nishina Type No. 2.

** MIHARA Masaru, TAKAHASHI Ichiro, OMORI Hiromichi, and GOTO Eiichiro (理研 工作部)

*** IMAI Kayo and WADA Masami (理研 宇宙線研究室)

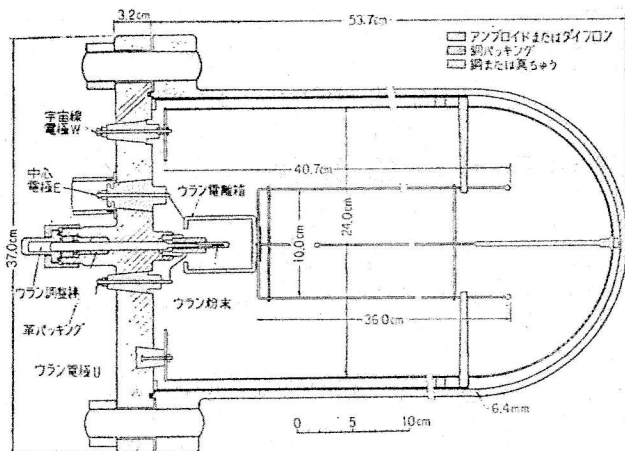
(1) 石井千尋: 理研い報, 23, 535, 昭19(1944).

(2) MIYAZAKI, Y.: *J. Sci. Res. Inst.* (Tokyo), 48, 80 (1954); 49, 267 (1955); 51, 97 (1957).

(3) 井上 葵: 理研報告, 42, 43, 昭41(1966).

(4) 楠瀬昌彦, 和田雅美: 同上, 45, 93, 昭44(1969).

(5) 中野嘉弘, 吉田元郎, 瀬川良弘, 小宮英太郎: 北海道学芸大紀要(第2部), 8, 12, 昭32(1957).



第1図 仁科型電離箱の断面

箱内に、外筒に接触する大きさのシールド円筒をおき、その内側に絶縁された円筒と半球で成り立つ外部電極をおく。中心電極は4本の棒による正方形のかごであり、先の部は細長い絶縁物で支えられている。正方形の中心に外部電極の半球側からつき出た棒がはいっており、電場を集電に有効なものとしている。外部電極には飽和電流領域の -180V をかける。

中心電極は前面フランジ側で補償用の小型電離箱の外筒に固定されている。図にはないが、この小電離箱は前面フランジに絶縁物で支持されている。中心電極は前面フランジのテーパ穴にはめ込まれた絶縁物の中央を通し、外部に導かれ、その電位が測定される。

2. 補償用電離箱

補償用電離箱⁽⁷⁾は宇宙線電離箱に対し、無視できるほど小さい。すなわち、容積は $87.6\text{cm}^3:2150\text{cm}^3$ と、4%の大きさである。その中に長寿命の放射線源をおき、宇宙線によるものと同程度の電離電流を生じさせる。ここに $+180\text{V}$ をかけ逆電流とし、中心電極からの出力がほぼ零点付近に釣り合うようにしてある。こうして宇宙線強度の変化のみを取り出し、感度をあげている。しかし、このため出力が正負にまたがるので、記録方式もそれに従うものにならなければならない。また正確な補償電流を知らなければ宇宙線強度が得られない。

補償用電離箱の電極は 0.1mmAl の薄い筒である。これに接触せず、先端内部にベータ線源を入れた調整棒がある。調整棒は前面フランジにねじ込まれ、その回転により線源の一部が遮蔽筒に出入し、線量を調節できる。調整時のガス洩れを防ぐため、革パッキンが用いられている。調整後銅パッキン付の袋ナットで封じる。

(7) COMPTON, A.H., WOLLAN, E.O., and BENNETT, R.D.: *Rev. Sci. Inst.*, **5**, 415 (1934).

3. 電離電流記録方式

電離電流は補償用電離箱と宇宙線電離箱にそれぞれ正負約 10^{-13}A であり、その0.1%は 10^{-16}A である。したがって電極に連なる絶縁物および電気計の絶縁抵抗はこれに見合うものが要求される。電気計は既成の振動容量型電気計*を用いる。その測定感度も上記のものを要求される。電気計はフィードバック機構により、外部容量の影響を無視できる。また入力容量は約 10pf なので、 10^{-16}A の変動は 10^{-5}V/s の電圧変化に対応する。

記録方式は振動容量型電気計の充電方式の出力 $\pm 1\text{V}$ までを受け、A-D変換し、普通は1分ごと、補償電流のときは5秒ごとの電圧変動分のみをデジタル処理し、紙テープにパンチする。⁽⁶⁾1回の出力で8単位1行パンチする。ここにバイナリで ± 125 が記録できるほか、それ以上を正負のオーバーフローとして記せる。 1mV が2単位になるよう**感度を調整してある。振動容量型の感度は地上観測のとき、 1V 出力が、電離箱よりの 10V 入力に対応させてある。Vでのべる補償電流測定結果は以上の数値から、電離箱内の電流に換算することができる。

4. 長期安定性

宇宙線強度の連続観測は24時間を通し、かつ10年の桁で行なわれ、その間の数の変化を研究対象とする。したがって、測定装置を総合した安定度は長期にわたり0.1%の桁で要求される。安定度をくずすものの第一はガス洩れである。その可能性のある部位は、ガス導入口のニードルバルブ、フランジなどのパッキンのほか、絶縁部の金属と絶縁物がテーパで合わされたところなどである。

III. 改修

ガス洩れはガス導入口の破損による。旧型は電離箱をつくった当初のものであり、前面フランジにねじこみ、ハンダを盛って洩れを止めていた。新型は既成***のものを用い、これに台部をつけ、前面フランジに溶接した。ガスを注入したのち、その口をジャイロロックを用い、銅棒で封じ、洩れ止めを確実にした。修理によりこの部分の洩れは完全に止まった。

しかし、10年の桁で用いるので、さらに注意を要する。たとえば板橋で1948年来データを出している5号は、10年に1気圧の割合で洩れている。^{(3),(4)}これを補正して用いるとき、長期変動に対しての質の低下はまぬがれ

* タケダ M83s (一部改造)。

** それぞれ測定されており、異なる。

*** Hoke社製ニードルバルブ 3712 H4Y。

ない。

たまたま、圧力計につなぐ位置のパッキンが弱く、急激にガス洩れがあった。現在、12月初めナットをきつく締めたことにより止まっているが、* 早晚改善する予定である。

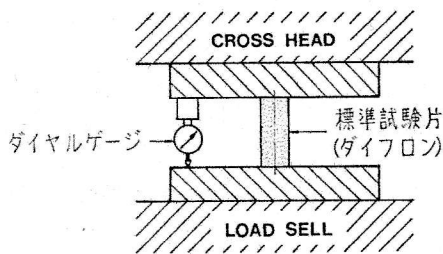
ガス導入口溶接のため、全部分解した。絶縁部品を全品アンブroidからダイフロンに代えた。ダイフロンへの変更は以前にも考えられ、⁽⁶⁾ 一部入れかえたものもあった。今回はダイフロンの特性をとったので、次章にのべる。

IV. ダイフロンの圧縮試験

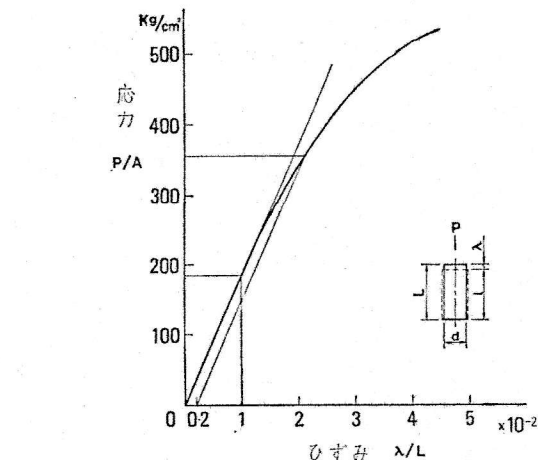
電離箱に用いる絶縁物に要求されるものは、高いガス圧や支持すべき電極の重みに耐える機械的性質と、静電的測定に対応する電気的性質である。ダイフロンを選ぶにあたり、その圧縮特性に**多少の不安があり、かつ実際に用いる形状についても見るため、圧縮試験を行なった。試験機には最大 5000 Kg の荷重範囲をもつ万能型引張試験機*** を用いた。試験は標準試験片によるものと、実際の形状のものを前面フランジのテーパ穴と同じもので支えたものとの2種行なった。

1. 標準試験片による試験

標準試験片による測定は ASTM 試験法 (D 695) を参考にした。試験片は円柱 ($\phi 8 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$) とし、棒材を加工した同型3個である。一般に熱可塑性樹脂のうち弾性に富む材料では破断するにいたるまでの荷重を加えることは重要視されていない。したがって今回の試験も約1mmの圧縮量 (~5% のひずみ) を生じるまでの圧縮荷重にとどめた。第2図のような治具を用いて試験を行なった。試験片のひずみが正確に測定されるよう、ダイヤルゲージをその両端間に取り付けた。圧縮速度はこの装置最低の 0.5 mm/min とした。第3図にひ



第2図 標準試験片圧縮部

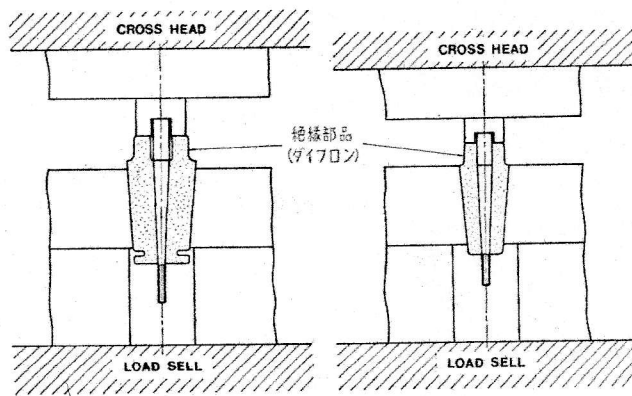


第3図 圧縮応力-ひずみ曲線

ずみと応力の測定例を示す。図の曲線の原点での傾斜すなわち弾性率は $\sim 2 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ となり、カタログ**** から期待されるものの最大値と合う。図に示すように、ひずみ 0.2% から先の接線に平行な線と測定曲線の交点から、0.2% 耐力は 350 Kg/cm^2 となった。ひずみ 1% にあたる測定曲線が示す圧縮応力は 180 Kg/cm^2 である。以上は3個の試験片ともほぼ同様であった。圧縮応力はカタログ**** に示す“1% 圧縮強さ”より大きい値を得たが、極端な差異ではない。試験片の形状の違いも影響しているかと思われる。

2. 絶縁物形状による試験

次に実際に使用する絶縁物の形状による試験についてのべる。第4図にその圧縮部を示す。実物大につくった。測定のペン書き記録を第5図に再現する。横軸は CROSS HEAD の压下量であり、ひずみそのものではないことに注意を要する。試験速度はすべて 0.5 mm/min である。最大荷重は電離箱の内圧が 50 Kg/cm^2 として、絶縁部品の最大断面積部に加わる荷重の約 1.5 倍と



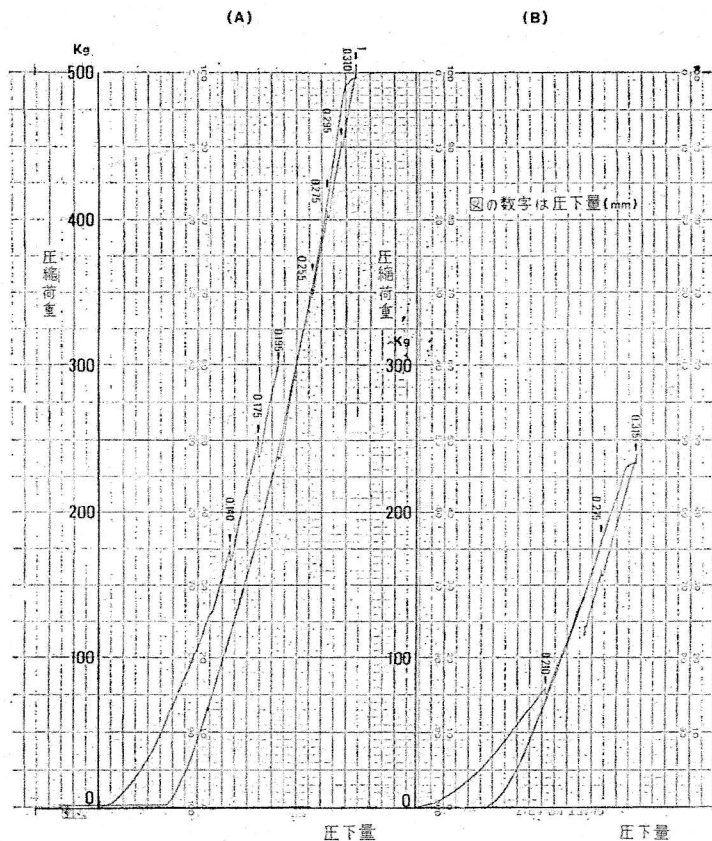
第4図 絶縁部品圧縮試験用圧縮部

* 第6図参照

** 圧縮強さ (1% 変形 25°C) $90 \sim 120 \text{ Kg/cm}^2$, 詳細は補註第I表を見よ。

*** TENSILON [MODEL UTM-1-5000], 変形工学研究室。

**** 補註第I表



第5図 実物大絶縁部品による圧縮荷重-圧下量記録

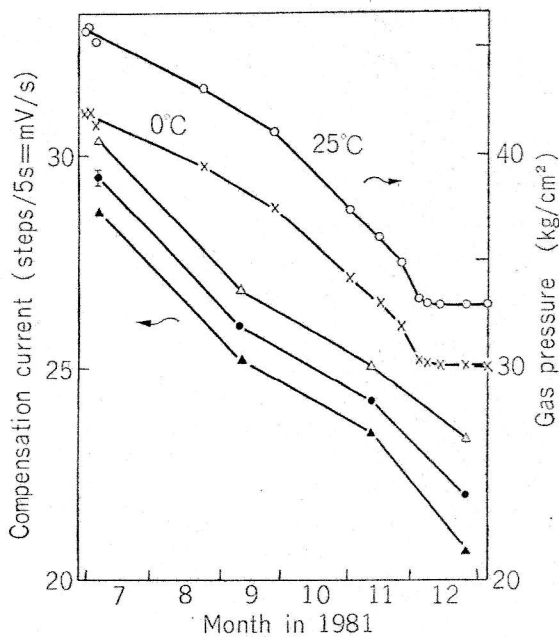
した。試料Aの図からは 175 Kg と 250 Kg に荷重の減少が認められる。ここで、約5分間ずつ荷重増加を止めたことによる。300 Kg で大きく落ちているのは、複雑な構造のため、圧縮により接触部分の不連続的な落ち込みがあったためと考えられる。

最大荷重の 500 Kg から前と同じ速度で荷重を減らし、かつ、ペン記録紙も逆行させた。そのとき圧縮時の線に沿って戻っていることから、弾性限界内で復元したといえる。試料Bについても同様の経過が見られた。なお同図から最大荷重における圧下量が 0.3 mm 程度であったことが見られる。以上の試験から、ダイフロンはガス圧 50 Kg/cm² の電離箱に充分耐えることが結論された。現在電離箱として実際に宇宙線測定に用いているが、電気的特性を含め、問題は起こっていない。

V. 補償用電離電流の測定

1. 宇宙線連続観測

改修後、板橋分所において連続測定を行なっている。設置場所の屋根は約 40 cm のコンクリートであり、永く5号が運転された室^{(2)~(4)}とはほぼ似た条件である。先にのべたようにその間ガス洩れがあった。ガス圧変化を第6図に示す。ガス圧は直結された圧力計による。外気圧との差を指すので、地上の場合1気圧を加え、ガス圧



第6図 ガス圧と補償用電流の時間経過
左目盛に対応する3本の線は第7図の+(Δ), -(▲) および、その平均(●)

とする。温度 t のとき、

$$P_0 = P_t / \{1 + \beta(t - t_0)\} \dots \dots \dots (1)$$

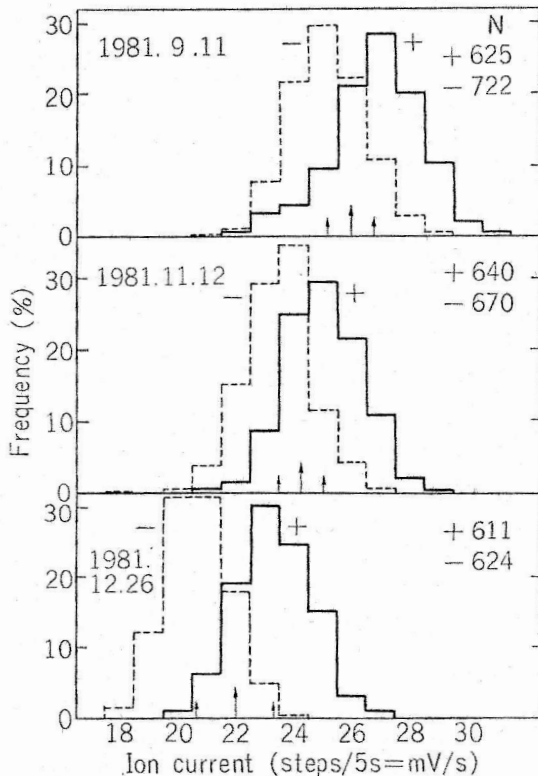
で換算する。 β は純アルゴンであれば $3.668 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$

であるが、圧力計の温度係数もあり、やや大きくすべきである。上記の β を用いたので、とくに 0°C ガス圧の真値は図よりやや低い可能性がある。 25°C ガス圧は室温に近いので β の違いの影響は小さい。12月初めにガス洩れを止めた。

2. 測定方法

II. にのべた記録方式により、補償用電流を測定した。電気計感度は宇宙線連続観測時の条件を保って 10V のままとした。これにより、電流により 10V 充電されたとき、電気計出力が 1V に達する。A/D 変換系はこれを 2560 ステップに変換する。紙テープ出力間隔、すなわち充電電位の差分をとる時間は常時 1 分に対し、補償用電流測定には 5 秒としている。以上から、 $1\text{ step}/5\text{ s}$ が電離電流にして 1 mV/s に対応することが導かれる。電気計充電部の容量は 15 pf 以下とカタログにあるが、実測を要するので、ここでは $\text{step}/5\text{ sec}$ 、または mV/sec の単位で電流をあらわしておく。

補償用電流測定には、宇宙線電極を接地し、補償電極に正または負の 180V をかける。 5 秒ごとの紙テープ出力を第7図に示す。測定月日による差はガス洩れによる。平均値を示す第6図からも、この第7図の分布からも、正負の差は明らかである。この差の原因は、接触電位差のため、宇宙線電離箱内にわずかながら電場を生じ電流が流れるためといわれている。⁽¹⁾



第7図 補償電流5秒値の分布

3. 連続観測中の測定結果

測定結果を第I表に示す。 N は 5 秒測定の回数であり、測定および記録方式からくるとび離れた点は捨ててある。 σ_{N-1} は、平均 \bar{x} からの分散

$$\sigma_{N-1}^2 = \sum(x - \bar{x})^2 / (N - 1) \dots\dots(2)$$

から求めた。個々の点の散らばり、すなわち第7図の分布の幅を示している。一方 $\sigma_{\bar{x}}$ は平均値の誤差で

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{N-1} / \sqrt{N} \dots\dots(3)$$

と得られる。この章の図の誤差はこれを用いているが、作図した点より小さいものは省いた。

第I表 補償用電流 (mV/sec)

測定月日 (1981)	7月8日	9月11日	11月12日	12月26日
25°C ガス圧 (Kg/cm ²)	45.5	42.0	36.4	32.9
正 (+180V)				
N	47	625	640	611
σ_{N-1}	2.28	1.58	1.32	1.30
\bar{x}	30.32	26.79	25.00	23.33
$\sigma_{\bar{x}}$	0.33	0.06	0.05	0.05
負 (-180V)				
N	178	722	670	624
σ_{N-1}	2.82	1.27	1.21	1.12
\bar{x}	-28.65	-25.17	-23.47	-20.69
$\sigma_{\bar{x}}$	0.21	0.05	0.05	0.04
平均				
N	225	1347	1310	1235
σ_{N-1}	2.71	1.42	1.26	1.21
\bar{x}	29.49	25.98	24.24	22.01
$\sigma_{\bar{x}}$	0.18	0.04	0.03	0.03

正負の差の物理的意味が明らかであり、第6, 7図のように安定しているので、平均は単純に

$$\bar{x} = (\bar{x}_+ + |\bar{x}_-|) / 2 \dots\dots(4)$$

とする。測定時に正負の個数がほぼ等しいようにしておくが、誤差の場合には個数差についても考える。さらに、第7図に見るように正負それぞれの平均のまわりの分布に差がないとすると、(2), (3)式と似た式として

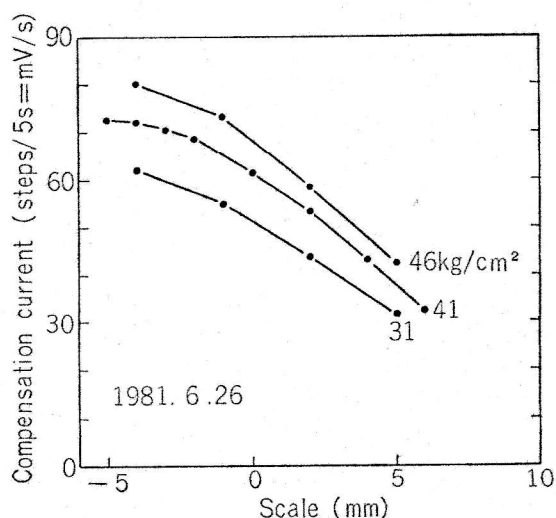
$$\sigma_{N-1}^2 = \frac{\sum(x_+ - \bar{x}_+)^2 + \sum(x_- - \bar{x}_-)^2}{(N_+ - 1) + (N_- - 1)} \dots\dots(2')$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma_{N-1} / \sqrt{N_+ + N_-} \dots\dots(3')$$

が得られる。 x_+ , x_- はそれぞれ正、負の電流値に対応する。

4. 調整棒およびガス圧との関係

板橋分所において連続観測に移る前、工作部において補償用電流の測定を、上記と同様の方法で行なった。あるガス圧において、調整棒の出入りの程度を変えて測り、次にガスを減らして繰り返す。第8図にその結果を



第8図 補償用電流と調整棒目盛の関係。
Kg/cm² は電離箱ガス圧

示す。横軸がマイナスまでであるのは、目盛尺のつけ方による。昔⁽⁴⁾測定したときは 8 mm でガス圧のみ変えた。今回はそれよりもっと線源の強いほうに調整棒を動かした。マイナス側で電流が飽和するのは、線源が放射線をさえぎる筒から出きっていることを示す。なお、第 I 表は宇宙線による電離電流と釣り合わせるため調整したのちのものであり、約 6 mm にある。図はガス圧ごとの線になっているが、ガス圧にはほぼ比例していることが見られる。

VI. まとめ

長く宇宙線連続観測に用いられてきた仁科型電離箱 1 台 (2 号) の修理について記した。電離箱は高压ガスを

封入され、かつ高絶縁を要する電極をもっているが、その両者について改修を行なったことになる。とくに絶縁物製造時に用いたアンプロイドに代えてダイフロンを用いるため、その特性中、今回の利用法に重要な圧縮試験を行ない、満足な結果を得た。

また連続観測にさいし、その長期安定性および電離電流の絶対値を確保するため、補償用電流の測定法および電流値とガス圧などとの関係を検討する必要があり、それを実施した。

10年の桁での連続観測には測定器の故障は痛い損失である。すなわち、故障時の欠測および、その前後の値の連続性の質の低下である。しかし、今回のように、修理にさいし、測定系の各種の再検討を行なえることにより、故障を単なる損害に終わらせず、有益であった。

なお、この 1 台の利用法については未定であるが、札幌⁽⁶⁾に変えて北方の 1 点での再開も考えられる。いずれにしる、その間基礎的な実験に用いることができよう。現在は板橋分所にて、運転中である。

以上の破損部の加工、溶接、銅パッキン製作、ダイフロン加工などの作業は、すべて理研工作部機械工作課で行なわれた。また 2 号、4 号 2 台の電離箱の移動に関して、北海道教育大学札幌分校の中野嘉弘教授、高知大学理学部の楠瀬昌彦教授にお世話になった。記して謝辞としたい。

補 註

ダイフロンの特性の表を示す。

補註第 I 表 ダイフロン®の性質

性 質	ASTM 試験法	測 定 条 件	単 位	数 値	
物理的性質	比 重	D792		2.10~2.18	
				約 (1~5) × 10 ⁵	
	結 晶 度			%	約 40~80
				cm/cm	0.015~0.020
	屈 折 率	D542	<i>n_D</i>		1.425
吸 水 率	D570	24 h, 1/8"t	%	0.00	
熱的性質	比 熱			cal/g/°C	0.22
				cal/sec/cm ² /°C/cm	(4.7~5.3) × 10 ⁻⁴
	線 膨 張 係 数	D696	23~60°C	1/°C	(4.5~7.0) × 10 ⁻⁵
	融 点			°C	210~212
溶 融 粘 度			poise	10 ⁷ (230°C)	

機械的性質	引張り強さ	D638	23°C	kg/cm ²	320~420
	伸び	D638	23°C	%	80~250
	曲げ強さ	D790	23°C	kg/cm ²	580
	圧縮強さ	D695	1% 変形, 25°C	kg/cm ²	90~120
	引張り弾性率	D638	23°C	kg/cm ²	10500~21000
	衝撃強さ	D256	23°C, Izod	ft-lb/in	2.5~2.7
	硬さ	D676	Durometer	シヨア	D90
	変形	D621	25°C, 140 kg/cm ² , 24 h	%	0.2
	動摩擦係数		対磨き鋼		0.10
	静摩擦係数		"		0.08
電気的性質	誘電率	D150	60 Hz		2.24~2.8
	"	"	10 ³ Hz		2.3~2.7
	"	"	10 ⁶ Hz		2.3~2.5
	誘電正接	D150	10 ³ Hz		0.023~0.027
	絶縁破壊の強さ	D149	短時間	kV/0.1 mm	12
	表面アーク抵抗	D495		sec	>360
	体積固有抵抗	D257		ohm-cm	>10 ¹⁶
	表面固有抵抗	D257	100% RH	ohm	>10 ¹⁴

SUMMARY

Reconstruction of Cosmic Ray Ion Chamber, Nishina Type No. 2

Masaru MIHARA, Ichiro TAKAHASHI, Hiromichi OMORI,
Eiichiro GOTO, Kayo IMAI, and Masami WADA

An ion chamber which has been used for quite a long time was reconstructed and the parts showing gas leakage were repaired. All the ambroid insulators were removed in carrying out welding. As they were used for forty years and some of them were broken while being removed, they were replaced by diflon insulators. Diflon was chosen as the new insulating material considering its compression characteristics measured. The compensation current was measured as a function of the gas pressure and the radiation intensity. The details of the work and the results are reported here.