

# 気球の破裂高度と保管温度の関係\*

片 桐 由 雄\*\*

**要旨:** ゴム気球に吊されて上昇するラジオゾンデの観測し得る高さはゴム気球の破裂によって決められるが、或が国においては従来からこの高さに夏に高く冬に低くなる季節的変動がみられた。冬は上層の大気オゾン量が増加すること、低温層の滞空時間が長くなることなどが気球膜の劣化を促進させ、これが破裂高度を低下させる原因とも考えられてきたが未だ明確な説明とはなっていない。

今回この現象をゴムの物性論からみた分子鎖構造の温度に対する形態転移の特異性をもとに1960年~1967年の8年間について調べた結果、両者の間には有意性の高い相関がえられた。すなわちゴム気球は保管中外気温の低下に伴ない分子鎖の構造が11°C付近で無定形から結晶化に転移して弾性が不連続に減少し、ひいては破裂高度の低下となって現われるもので上述の気球破裂高度の季節変動と一致する。このことはまた保管温度に注意すれば破裂高度の低下を防ぎ得ることを示唆している。

## 1. まえがき

ラジオゾンデを吊して上昇するゴム気球は高層観測に欠せないもので、最近米国は45~50kmに到達するものを開発されているようである。このようなゴム気球に一番大事なことは、目標の高さに到達する性能が優れ、かつその品質の信頼度が高く、気象観測のようにルーチン業務の場合は常時所定高度の観測資料が確実にえられる性能を備えていることである。

ところで我が国で使用している気球は天然ゴムを主原料としているが、必ずしも満足し得る性能とはいえない。

なかでも破裂高度の夏に高く冬に低い季節的変動は、雨天における低高度破裂とともに目に付く現象で、原因として天然ゴム特有のオゾンおよび低温に対する特性が関係するといわれているが、いまだ明確なものとはなっていない。

近年高分子化学の研究が進むにつれて天然ゴムの特性も次第にあきらかにされ、その一つに温度変化に伴なう分子鎖構造の形態転移の特異性がある。今回この点に着目し、気球破裂高度の季節的変動の原因を調べたところ、このゴムの特性と気球の破裂高度との間に予想以上の関係がある結果をえたのでこれについて述べてみたい。

## 2. ゴムの弾性

一般に天然ゴムは冷却されるにつれゴム特有の弾性(伸び、抗張力)を失ない固く脆くなることでよく知られているが、このような弾性の変化は、ゴムが高分子鎖状物質からなりたち、熱エネルギーに支配されていることの現われである。

第1図は分子鎖構造の形態をモデル化して示したものであるが、熱エネルギーは分子の動きを活発にさせ、結晶化配列のものは無定形に転移したのち次第に動きが早くなり、この状態に外部より圧力が加えられれば配列は強制されて窮屈な姿勢に変わる。(エントロピー小)

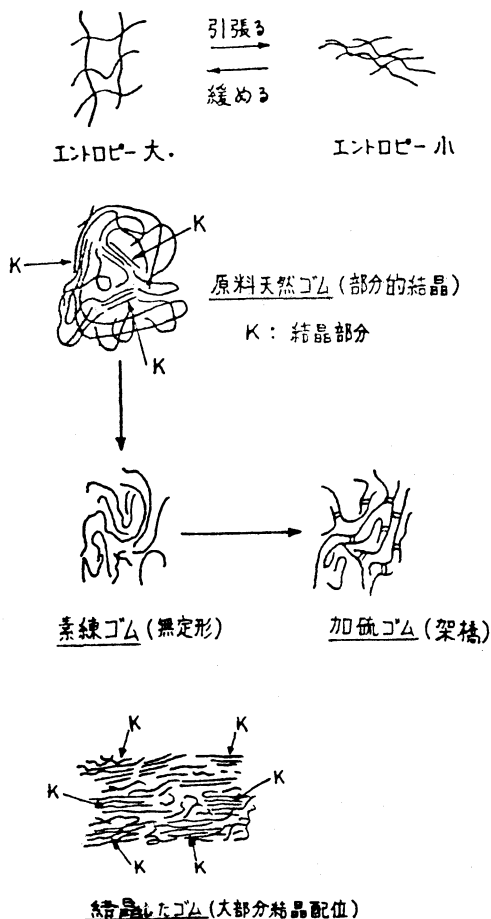
一方この圧力に反抗し、もとに戻ろうとする(エントロピー大)力が生れる。これがゴム状弾性である。

つぎに弾性の強さであるが、図から分子鎖個々の力の集合と分散について考えた場合、力の伝導は分子鎖間の関係密度に関係し、密度は接触点の数に比例するものと解することができよう。とすればより強い力(弾性)を持つためには各分子鎖相互の接触点を人為的に作ることにより可能となり、その物質の弾性を変えることができる。このような方法は実際に行なわれ、一般に架橋と呼ばれているがゴムの場合は加硫と称している。

ゴムの木から採取した生のゴム液は固体になっても弾性に乏しくて使用できないから、硫黄を使って架橋を行ない、ゆたかな弾性をもつ糸ゴム、または弾性がほとんどみられない固いエポナイトなどに加工される。しかしこれらも熱エネルギーによって支配されることには変わりがない。

\* A Relation between Temperatures for Storing and Bursting Heights of Sounding Balloons.

\*\* Y. Katagiri. 高層課  
—1967年9月21日受理—



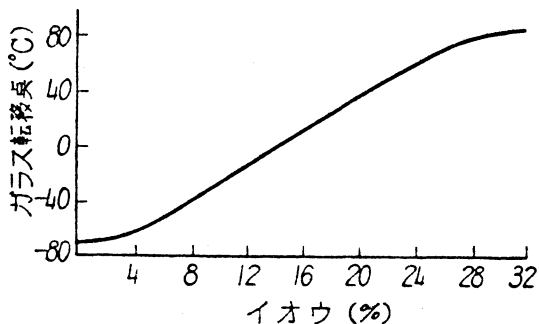
第1図 ゴムの構造模型 (応用ゴム物性論より転載)

3. ゴムの温度特性

天然ゴムはその温度を下げるにより分子鎖配列が

- a. 不規則なのたうち運動の無定形から
- b. 分子鎖間の相互作用力が分子間の熱運動に打勝って配向し結晶化をはじめ
- c. すべての分子鎖が完全に凍結してガラス化する三形態を転移する物質で、これらの転移の間には
- d. 温度変化により液体—ゴム状—固体の三領域にわたり連続して変化し、一定の融点、凝固点をほとんど示さない
- e. 温度変化とともに時間的因子がかなり支配的である

という特異性をもっている。またこれらの特性もゴムに含まれた配合薬品の割合、加硫の条件などにより異なる。たとえば、第2図に示すようにガラス化温度は、結



第2図 天然ゴムの結合イオウとガラス転移点(T<sub>g</sub>)の関係

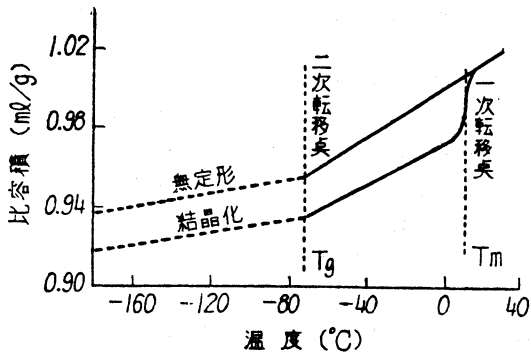
第1表 天然ゴム加硫物の -26°Cにおける半結晶化時間

加硫系	伸び 150%*	伸びなし
過酸化物	1.5時間	24時間
無イオウTMT	2 "	30 "
CZ	15 "	2週間
M	3 日間	25 "

\* 応力緩和曲線より求めた。  
(参考)：日本ゴム協会発行 ゴム試験法  
気球は TMT に含まれる。

合硫黄の混入率1~32% (ゴム気球は1~1.5%) により -70°C から 80°C の中広い分布をもち、結晶化温度についても気球用ゴムの場合 11°C ではじまるが結晶化に最も適するのは -26°C で、これより高くても低くても結晶化の進みは遅くなる。また結晶化に要する時間は加硫の処理方法により大きな差がみられ(第1表)、これらの値もゴムがテスト前に受けた加熱、冷却、その受け方、度合すなわち熱経歴により異なる。最近の文献<sup>1)</sup>によれば

「急冷した無定形ゴムの比容積は連続した減少を示すが、除冷した結晶化ゴム(部分的に結晶核をもったゴム)は、15°C 付近で比容積の変化に不連続を示し結晶化(第1次転移点)を表わす。両者はともに -70°C 付近でガラス化(第2次転移点)する。」(第3図)と報告されている。比容積変化の不連続点は形態の転移を表わすから、無定形ゴスを急激に冷却(気球上昇中の気温の変化率はこれに入る)した場合、分子鎖は配向して結晶化するための時間的余裕がなく、無定形形態で凍結しガラス化に達する。一方結晶化ゴム(無定形ゴムが11°Cの結晶化温度)以下に冷却されて結晶化に転移後、再度加熱して無定形に転移させたもので、完全に転移で



第3図 天然ゴムの比容積と温度の関係

きず部分的に結晶化が残っているようなもの)を除々に冷却した場合は、11°Cより高い15°Cから比容積変化が明確な不連続点を表わして結晶化転移をはじめ、かつこの点における変化量は極めて大きい。両者はこのように異なった変化を示すが、ガラス化温度についてはともに-70°C付近で現われ、その温度に差はみられないというのである。

ここに示されたゴムの比容積変化とは、ゴムの温度に対する弾性の変化を二次的に表わす代表的な方法として用いられるもので、この測定値と描かれた折線の形状は弾性の温度特性である。

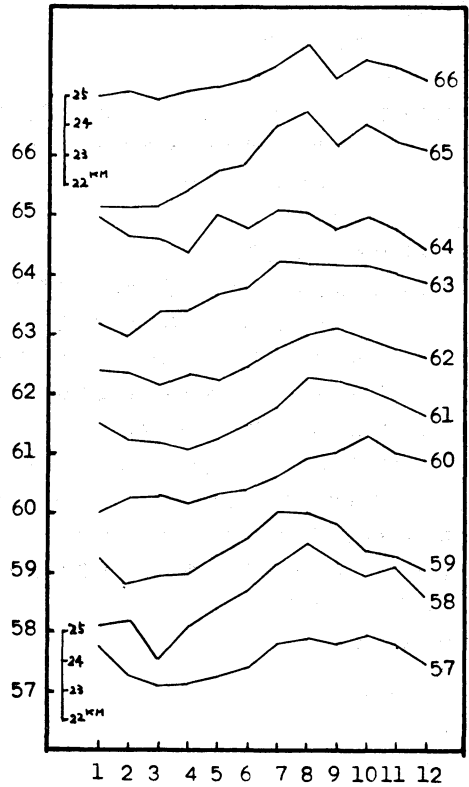
この意味から第3図は同一製法のもので作られたゴムの熱経歴のみ異なったものについて、低温における弾性の優劣を比較して調べるにはすぶる適した基礎資料といえよう。このことはゴム気球の低温における伸び即ち破裂高度にとっても興味あるところである。

4. 破裂高度の実態

ゴム気球は吊すゾンドの重量により300g~3000gの各種が使われている。これらは通常350~400m/minの上昇速度がえられるように所定の水素ガス量をつめて飛揚される。

破裂高度を比較するにはまず同種の気球で、懸吊物重量、浮力などの使用条件が不偏であり、多くの観測所で同じ時刻に一樣に使われかつ使用個数が多いことが必要である。この観点から現在気象庁で管理している高層官署13個所で、1日2回飛揚されるレーウィンゾンデ用800g気球(月約800個)の資料を用いることにした。もっともこれら個々の破裂高度には、気球製作上から生ずる品質の差、天候によるガス量の差、飛揚時における降水の

\* 工場移転に伴う設備変更により製品の品質が一時低下した。



第4図 季節的変動を表わす月平均破裂高度の10年間の変化

左下のスケールは57年、左上は66年を示し、その年毎にスケールを動かしてみる

有無など破裂高度に影響する因子が含まれているが、特別の場合を除き800個の平均値を用いることで均等化されるとみてよい。

第4図は最近年10間の月平均破裂高度を年別に表わしたものである。この図から破裂高度は年毎に向上していることがわかり、その中であって次のことがあげられよう。

- a. 各曲線の中にはその月のみで前後の月に関連のない単純な変化がある。
- b. 64年\*を除きすべての年に第1項で述べた夏冬冬の季節的変化が存在し、冬低は4月まで続くことがある。

これらについては

- c. aは本項で述べた破裂を早める因子がまれに集中して現われた。たとえば台風、梅雨期の降水、
- d. bについてはa以外の因子で広範囲な地域に継続して存在し、かつ季節的に現われる因子によるも

のである。

ことが考察できよう。ならば d の因子はどのようなものであろうか。

季節的変動からまず考えられるものに地上気温の変化があげられる。年毎の曲線は地上気温の年変化に類似し、すべての年にわたってこの傾向がみられることは極めて注目すべきことと思う。

5. 破裂高度と保管温度

前項でふれた破裂高度と地上気温の関係は実際にどの程度のものであるか、調べたのが第5図である。

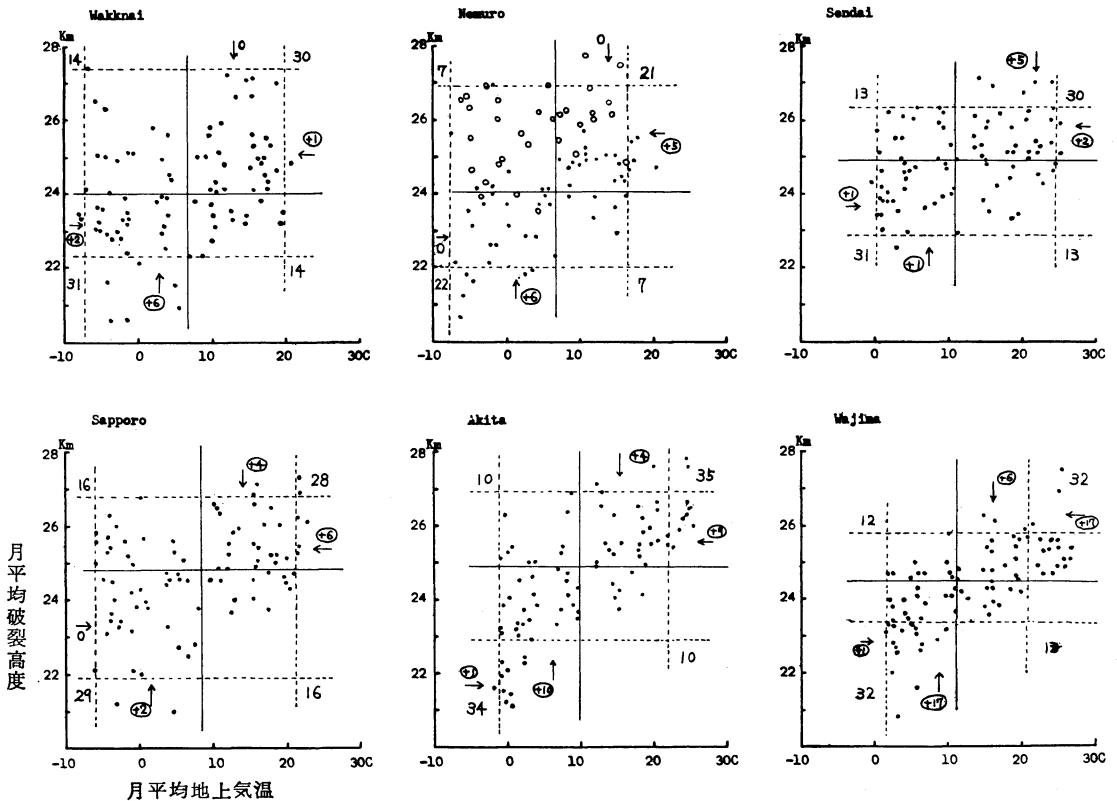
この図は両者の相関をみるため1960年1月から1967年5月までの資料をもとに、各官署毎に縦軸を破裂高度の月平均値、横軸を地上気温の月平均値にした分布図である。相関の有意性については「単調な関連性の図による検定」と「Tukeyの両隅検定」の二方法を採用した。

計算の結果は気球の保管状況（ゴムの熱経歴をみるため）も付記して第2表に示し、集約した有意性地域分布状況をみるため第6図に記号をもって示した。これらの結果を総合すると

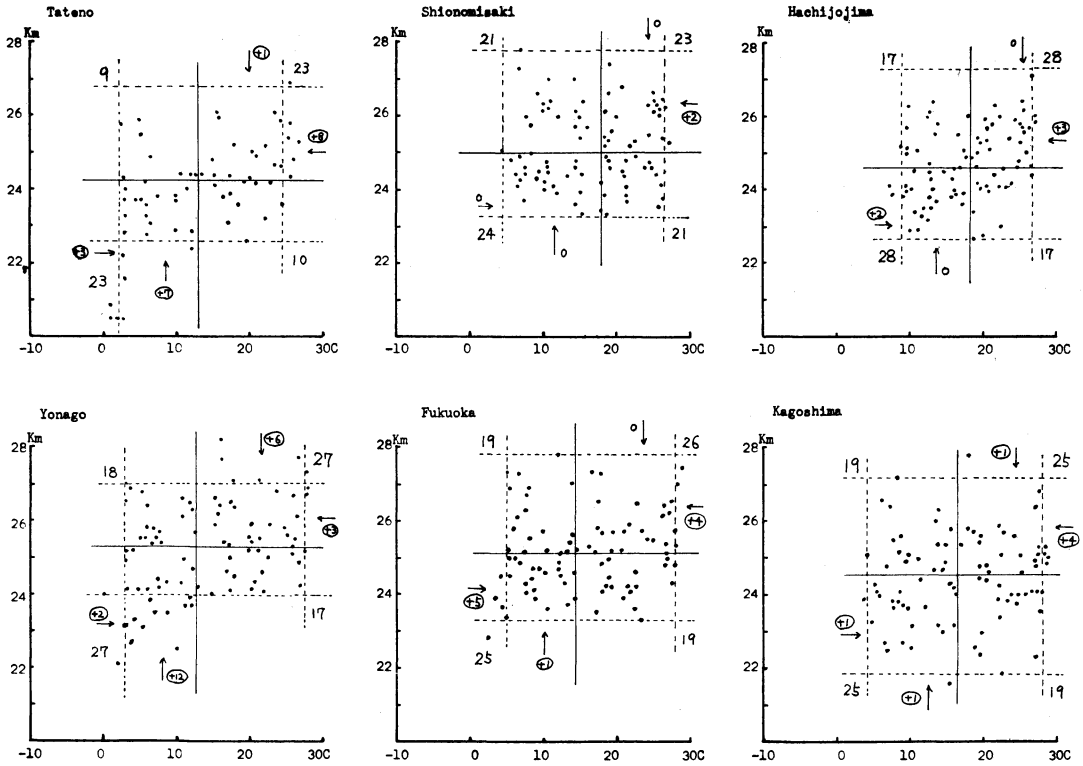
- a. 有意性は北の寒冷地域が大きく、南の温暖地域に行くに従って小さい。
- b. 貯蔵庫の保温処置を採らない秋田、輪島、館野は二つの検定に合致し、もっとも有意性が大きい。
- c. 保温処置を採った稚内、札幌、根室は、寒冷地にもかかわらず上記のbの官署より有意性が小さい。
- d. 地上気温が10°Cより低くならない名瀬は有意性が全くみられない。

などがあげられる。なかでも根室については1964年10月より貯蔵庫に暖房が取付けられ、これ以後の資料はとくに○印で区別したが、これらはそれ以前の破裂高度の値より高く、しかも地上気温による差がほとんどみられない。

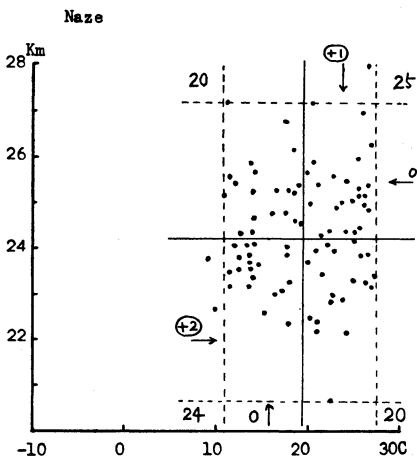
以上のことは破裂高度と地上気温の間に密接な関連性の存在と、同時に人為的熱エネルギー補給によりこの関連性を解消させることができることを示唆しており、この二つの事柄は関連性の因子が地上気温ではなく、貯蔵中の保管温度、いかえればゴム気球自体の温度がもたらしたものとえよう。これに対して仮りに天然ゴムの



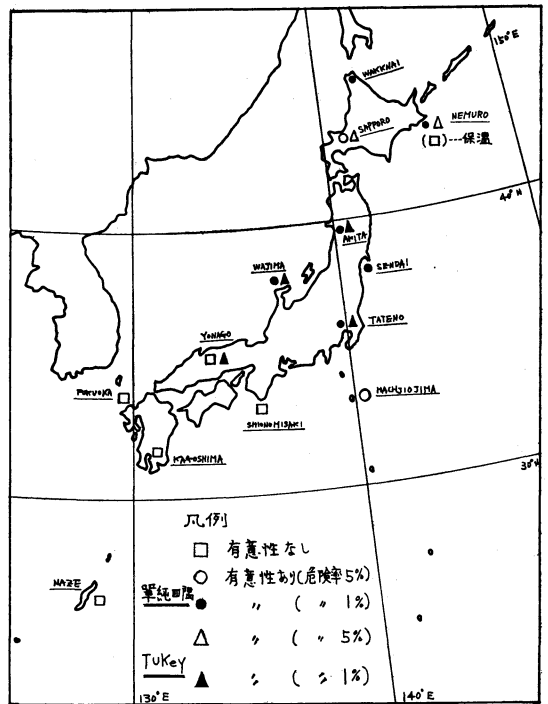
第5図(A) 官署別破裂高度対地上気温分布図



第5図(B)



第5図(C)



第6図

第2表 800g 気球相関検定成果表

	回 数	単調関連図象限値				危険率		Tukey 四隅の値				危険率		保管状況	1日の室温	
		第1	第2	第3	第4	1%	5%	上辺	右辺	下辺	左辺	1%	5%		倉庫	観測室
稚内	89	30	14	31	14	yes		0	1	6	2		No	12-4 観測室 5-11 倉庫 使用1月前観測室	-5°C	18°C
根室	57	21	7	22	7	yse		0	5	6	0	No	yes	冬期観測室 その他倉庫 使用10日前観測室	-3	20
(保温) 根室	32	10	6	10	6		No	2	0	5	0		No	気球倉庫暖房	-	20
札幌	89	28	16	29	16	No	yes	4	6	2	0	No	yes	第1倉庫→第2倉庫 使用10日前観測室	第1-5 第2 5-10	20~25
秋田	89	35	10	34	10	yes		4	9	10	1	yes		倉庫 使用5日前観測室	3	25
仙台	87	30	13	31	13	yes		5	2	1	1		No	倉庫→整備室 使用10日前観測室	5	25
輪島	89	32	12	32	13	yes		6	17	17	1	yes		倉庫 使用5日前観測室	3	20
館野	65	23	9	23	10	yes		1	8	7	3	yes		倉庫 整備室	倉4 整7	20
米子	89	27	18	27	17		No	6	3	12	2	yes		冬期観測室 その他倉庫	-	18
汐岬	89	23	21	24	21		No	0	2	0	0		No	冬季観測室 その他倉庫	8	18
福岡	89	26	19	25	19		No	0	4	1	5		No	倉庫 使用10日前観測室	5	20~25
八丈島	90	28	17	28	17	No	yes	0	3	2	0		No	使用のつど倉庫より	7	15
鹿児島	88	25	19	25	19		No	1	4	1	1		No	充填室→倉庫 使用10日前観測室	充7 倉12	16
名瀬	89	25	20	24	20		No	1	0	0	2		No	倉庫 使用5日前観測室	14	16

- 註 1. 検定表は RAPID STA TISTICAL CALCULATIONS 増山元三郎訳を用いた。  
 2. yes No は上記危険率を含み相関は有意または有意でないを示す。  
 3. 気球月間使用数10個以下の月は除いた。  
 4. 根室は保温の関係で 1964. 10 以前と以降の別に統計した。  
 5. 保管状況は 1964. 6 の調査報告による。

もつ耐寒性能に原因があるとするならば、成層圏の気温は夏(-75°C)に低く冬(-55°C)に高いことからして破裂高度は夏低冬高を示すのが妥当である。しかるに実際は第4図のように逆の現象を示し、破裂高度の変動を成層圏気温の変動に結びつけることは妥当性を欠き、かつ大気オゾン量の季節変動も根室の気球破裂高度の変化を説明できないとすれば、第3項で述べた分子鎖構造の急冷による無定形凍結ゴムと、貯蔵中に外気温の低下に伴なって徐冷され、11°C以下となって結晶化転移をおこした結晶化ゴムとの低温中(飛揚中の気球)における弾性の差が、夏高冬低という気球破裂高度の季節変動をもたらしたものと解釈するのが妥当であろう。

このほか地上気温が10°C以下にならない名瀬の破裂高度の分布状態、冬季冷たい倉庫から出したばかりの気球をストーブで短時間加熱しても、その効果が破裂高度

のうえに現われないことなどは、前者は転移温度以上に下らないこと、後者は転移に時間を要するゴムの温度特性によるものとして上述の結論をより裏付けるものとしてあげられよう。

それでは冬低の4月まで続く現象についての因子はなんであるかの疑問が残るが次のように考えられないだろうか。

- (i) ゴムの比熱は 0.27~0.48 で熱容量が比較的大きくまた熱の伝導が悪い。
- (ii) 気球は老化を防ぐため厚手ダンボールで目張り梱包をし外気との流通を断っている。
- (iii) 貯蔵庫は一般に暗冷な場所に在って通気性が悪い。

これらはともに外気温とゴム気球温度の熱平衡を阻害するもので、これが両者の間に時間的遅れを生じさせひい

ではグラフ上に現われたものと考察したい。

6. むすび

今回の調査はゴムの温度特性が基礎であるから実際のゴム気球温度を用いるのが理想であるが、そのような資料は作られていないためやむなく地上気温を代用した次第である。しかしながらこれでも相関の有意性は充分えられたものと思う。

破裂高度の季節的変動は、保管中のゴム気球の温度が外気温の変化に伴って 11°C 以下になったとき、分子鎖構造の形態が結晶化に転移して弾性を減少させ、ひいては破裂高度の低下をきたすもので、ゴム分子鎖の温度に対する特異性に起因するものであると考えられる。

このため冬季倉庫の室温が 11°C 以下に下がるところでは、保温設備を設けるなどして保管温度に注意し、つねに気球の性能を発揮できる最良の状態のもとに管理しておくことが大切である。ただし 35°C 以上の場合には逆にゴムの老化作用を促進することになるから好ましくな

い。

本文のはじめに気球の使命は目標の高さに到達することであると述べたが、このことは気球を作る技術者の日夜たゆまぬ努力と、使用する者の細かい配慮とがあいまってはじめて達成されるもので、この報告が関係者に多少なりとお役に立ち、かつ諸兄のご批評をいただければ幸いである。

おわりに本文を記すについて終始厚いご指導とご配慮をしていただいた有住高層課長ならびに高層課関口郎調査官に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

1. 栗原福次, 及川郁朗 (1966) ポリマーの友 12 P.P 575~581.
2. 金子秀男 (1964) 応用ゴム物性論 12講
3. ゴム検査協会編 (1964) ゴム検査法

第 14 期第 18 回常任理事会議事録

日 時 昭和43年 3月21日 15.00—19.30  
 場 所 気象庁予報部長室  
 出席者 島山, 北岡, 小倉, 根本, 岸保, 神山, 小平, 桜庭, 大田, 朝倉 (常任理事), 孫野, 磯野 (地方理事)

議 題

1. 学会賞・藤原賞受賞者の決定  
 理事の投票はつぎの通りである。  
 学会賞 浅井富雄会員 (可とするもの15, 保留2)  
 藤原賞 坂上治郎会員 (可とするもの14, 保留1, 否2)  
 受賞者選定規定 (4) により上記会員に受賞はきまった。
2. 朝日奨励金の推せん 渡辺貫太郎, 土屋清会員から申入れがあった。討論した結果適当と認められるので学会として推せんする事にきまった。
3. 来年度の予算について 予算案について会計理事の説明があった。今後5か年間は値上げしないことを原則にして、くんである。従来の予算にくらべ印刷費, 発送費 (外注), 総会費, 支部交付金, 職員退職積立金などが増額された。  
 事務局は会計 (中島), 庶務 (柴田), 編集 (八塚)

の3人によって構成され, 各人協力しあって学会事務を行なう。理事会にはこのうちの1名が常時出席し, 次第に事務局的性格の仕事を受け持って貰う。編集の仕事については給料の件も含め, 総会後にきめる。

事務局の発足については, 会計, 庶務理事が相談する。なお, 気象協会にある藤原賞基金 100万円から5万円をもらっているが, 少ないので, メタル代程度まで増額する必要がある。

予算案はつぎの全国理事会で再度検討する。

4. 名誉会員について  
 規約にあるが, その運営方法がはっきりしないので, 内規を整える事が望ましい。この件については次期の理事会に申し送る。
5. 学生会員について  
 前回の常任理事会の原案をもとにして, 地方理事を含め討論した。その結果, 学生会員は毎年4月30日までに在学証明書を付けた本人の申請によってつぎの総会に議題として提出する。
6. 気象集誌編集委員 新田尚会員を追加する。
7. 選挙について  
 より多くの新しい会員が理事会活動に参加することが望ましいという基本的な考え方は認められた。