

高エネルギー・一次宇宙線重粒子の観測*

—MICSプロトタイプによる測定結果—

近藤 一郎**・齊藤 威**・桜井 敬久**
・葉田野義和**・深田 豊**・宮島 光弘***
尾田 汎史†・野間 元作††

(1981年9月4日受理)

はじめに

一次宇宙線粒子の化学組成、エネルギー分布等の測定は、宇宙線の起源、加速機構、伝播機構等の解明の為に多くの情報を与えるものである。一次宇宙線を構成する各種の原子核には、天体の熱核反応によって合成が可能で、宇宙線の起源に存在し得るもの（一次成分という）と、宇宙線のエネルギーに逆加速され、地球への伝播中に、宇宙空間の物質との衝突によって作られたと考えられるもの（二次成分という）とがある。この一次成分、二次成分が広いエネルギー範囲 ($10^6 \sim 10^{20}$ eV) でその存在比をどの様に変化させるか、又特定の元素や、同位元素（例えば Be^{10} の様な長寿命放射性核種）の存在比の測定結果は宇宙線の起源となる各種天体の状態、加速機構そして、その後の宇宙空間での伝播機構の影響を分離してゆく上で種々の手掛りを与えてくれる。

この様な目的の為に、一次宇宙線特にその重粒子の化学組成や、同位体比の測定が数多く行なわれて来た。この研究の為に地球の大気圏に入って来て、大気中の原子核と衝突する以前の状態で測定が必要で、大気球もしくは科学衛星等に搭載した機器が使用される。初期は原子核乾板が主として用いられ、その後各種の検出器の組合せによる Counter Telescope 方式が用いられる様になった。最近は主として科学衛星、空間探測器等に搭載された検出器によって、特に低いエネルギー領域 ($10^6 \sim 10^9$ eV) では、同位元素比を含め精密な結果が得られている。

* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 東大宇宙線研究所

*** 高エネルギー研究所

† 神戸大学理学部

†† 山形大学理学部

しかし、より高いエネルギー領域では、統計精度の高いデータが少なく、地上での間接的な測定結果と対比して、高いエネルギー領域での加速・伝播機構を議論するためにはまだ不十分な状態である。

我々は1976年以来、より高いエネルギー領域での宇宙線の化学組成、同位元素比、エネルギー分布等の精密測定を計画し、この為の検出器システムとしてMICS (Multi Ionization and Cerenkov System) の開発を行なって来た。このシステムはCerenkov Counter によって粒子の荷電を測定し Ionization Counter によりエネルギーについての情報を得るもので、その第1段階としてMICS プロトタイプを製作し、検出器の性能の試験を主体に、併せて一次宇宙線重粒子についてのデータを収集する事とした。

このプロトタイプを使用した観測は1979年9月に第一回目が行なわれたが、高圧電源系の故障と思われる原因によって水平浮遊に入って、約1時間後からデータを得る事が出来なかった。幸いにしてこの観測機器を回収する事が出来たので、問題と思われる部分の改造と、電子回路系の再製作を行ない、1980年5月19日B₅₀₋₁₆により飛揚実験を行ない、約18時間の水平浮遊中のデータを取得する事が出来た。以下にこの実験の経過と観測結果について報告する。

1. 検出器システム

MICS プロトタイプ検出器は図1に示す構造となっている。この検出器システムは次の3種類の検出器を組合せて構成されており、これらが気密容器に収容されている。

- (1) 屈折率の異なる diffusion タイプのチェレンコフ光測定器 CRD-A, CRD-B,
CRD-Aは直径50cm, 厚さ2cmの波長変換剤 (Bis MSB 重量比 10^{-4}) 入りのアクリル板で、屈折率は1.49である。波長変換剤はアクリル板中で粒子が発するチェレンコフ光

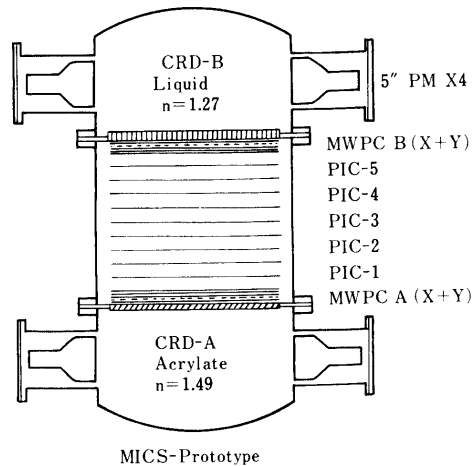


図1 検出器システム

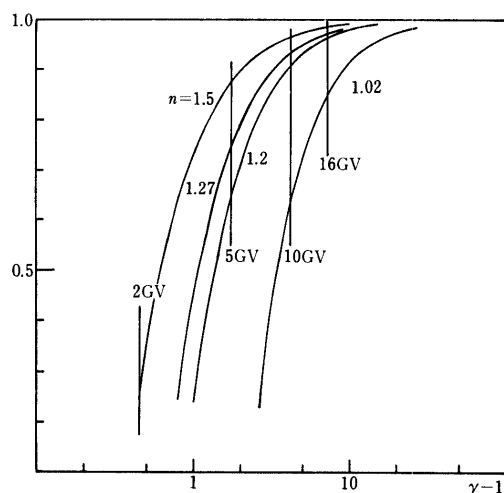


図2 種々の屈折率 n の物質中でのチェレンコフ光の相対光量 図中の縦線は原子核 ($A = 2Z$) に対する Rigidity を示す。

の波長を長波長領域へ変換し、光電増倍管で検知される光電子の量を約2倍に出来る。しかしこの量を多くすると、シンチレータとして動作し粒子の速度によらずに光を出す様になるので、このシンチレーション光からの寄与が5%以下におさえる量にしてある。粒子の速度(又は Rigidity)とチェレンコフ光量との関係は図2に示される様である。

CRD-Bは直径50cm、深さ1.5cmのアルミ容器に入れた液体放射体(フロロカーボンE-2)で、屈折率は1.26、容器の上は50 μ m厚のマイラーの窓が貼ってあり、液体内での発光を効率よく観測出来る様になっている。

CRD-A, Bの夫々の容器の内面は、Baを主体とした高い反射率を持つ塗料が塗られて、放射体からの光を高い効率で光電増倍管へ入射させる構造となっている。光電増倍管は直径12.5cmのR877(HTV製)で、夫々の検出器に4本つけられており、対角線上の2本の出力を混合する事によって粒子の通過位置によらず、ほぼ一定の出力を得る事が出来る。

CRD-A, Bは放射体の屈折率が違うので、両者からの出力の差によって2~6GeV/nucの領域では粒子のエネルギー分布を測定する事が可能であるが、6GeV/n以上ではエネルギーによらず、粒子の荷電(Z)の自乗に比例した出力が得られ、荷電の測定が出来る。

(2) ガス中のエネルギー損失を測定する5段の平行板型パルス・イオンチェンバーPIC-1~5

直径50cmで3.5cm間隔におかれた11枚の平行円板電極によって構成されている。円板電極は120 μ m厚のマイラーフィルムの両面に~3 μ m厚にアルミを蒸着したもので、上から1枚置きに陰極と集電極になっている。PICはMWPCと同じ気密容器に入れてあり、5%

のメタンガス入りの1気圧のアルゴンガスが封入されている。ガス中で荷電粒子が作るイオン数は、同じ核子当りエネルギーの粒子については Z^2 に比例するが、エネルギー(En)が高くなると、相対論的効果によって増加が見える筈である。従ってPICの出力とCRDの出力との比較からエネルギーについての情報を得る事が出来る。5段のチェンバーの出力は夫々波高値として解析され、イオン数の変動や、電極中で発生する δ -ray(反跳電子)の影響を推定出来る。

(3) 粒子の通過した場所と方向を決定するための多重線比例計数管 MWPC-A, B

CRD, PICの波高値は、ZやEnによる他、検出器中での飛程に比例するので、粒子が通過した方向についての情報が必要である。そこで1cm間隔に $50\mu m$ の金メッキタンゲステン線を張った直径50cm厚さ1.5cmの円形多重比例計数箱MWPC 4段を位置検出用測定器として組込んだ。計数箱の極板はPICと同様のものを用い、MWPC-A, B夫々に直交するX, Y 2段の比例計数箱を置き、上下2ヶ所での粒子の通過位置を求め、これから粒子の入射方向(天頂角Z, 方位角A)を得る事が出来る。

2. 機上電子回路系

1.で述べた各検出器からの出力及び温度、ゴンドラの方角等についての情報を収集し、地上へ送信するため、図3に示す機上電子回路系が作られた。CRD, PIC, MWPC各検出器の出力は、先ず荷電感応型のプリアンプによってパルス波高に変換されて気密容器の外へ取出される。CRDについてはA, B夫々2系統、PICは5段の夫々についての出力が出

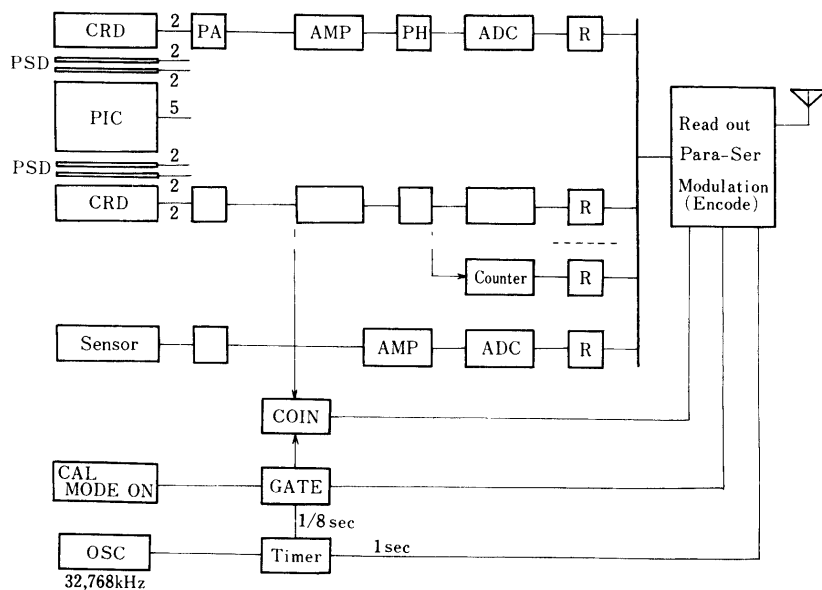


図3 機上電子回路系ブロック図

された。MWPCは1段25本の集電極線の間を5k Ω の抵抗で結びその両端からの出力をブリアンプを通じて取出すのでA, B夫々4本の信号が出力される。

CRD, PICについては、波形整形の後で電圧増幅を行ない、荷電(Z)が3で最終段で50~100mvの出力が得られる様、検出器の高圧電源や増幅器のゲインを調整した。MWPCはdynamic rangeが広い必要があるが(同じ粒子に対し両端の出力比が25:1になる事がある)今回は夫々の出力を波高分析出来る様に、Z=6に対して中央を通過した時に約100mvの出力が得られる様に調節した。

電圧増幅された波高はピーク・ホールド回路によって保持され、CRD-AとCRD-Bとの同時信号によってADC回路によって分析される。全体の電力消費を軽減するため、CRD, MWPCは夫々の検出器毎に1ケのADCで分析を行ない、PICは2段と3段に分けて夫々1ケのADCで分析を行なった。波高分析結果は、図4に示す形式に従って1ワード当り20ビット、計20ワードのPCMデータ(PHデータ)として地上に送信される。このデータ送信は通常CRD-A, CRD-Bの夫々の1ケ以上の出力が $Z \geq 3$ の信号を同時に出した場合に行なわれるが、検出器の感度較正のため、地上からのコマンドにより、夫々の検出器の出力を各個に波高分析し送信するCALモードでは1秒間に8回の送信が等間隔で行なわれる。CRD-A, Bでは光電管面にlight pulserが、PIC, MWPCでは電極中央にアルファ線ソースがつけられており、これらの波高値の分布を記録する事が可能である。

データの中にはこの他に送信時の機上クロック(1秒単位で4096秒で1周)の値、地磁気センサー(GA)の出力値(8ビットADCの出力)及び、同時信号の有無等の情報が入っている。又EVENTモードがCALモードかの区別は各ワードの先頭のビットによって判別出来る。

飛翔実験中の各検出器の状態を知るもう一つの手段として、夫々の検出器の出力信号中、CRD, PICについては $Z \geq 3$ 、MWPCについては $Z \geq 6$ に相当する波高を越えたパルスをカウントし、毎秒1回地上へモニターデータ(PCデータ)として図6に示すフォーマットで送信した。これにはカウント値の他に機上クロック値、各所の温度、GAの出力等も含め、地上でのモニターを容易にしてある。(16ワード/データ)

以上のデータは16.384kHzのPCM位相変調信号としてテレメータ送信器に送られるがこの際気圧計によって断続するモルス信号を音声(~400Hz)として重畳した。テレメータは1680MHzを用い、2つの送信器をつけてコマンドにより切換えられる様になっている。

EVENTデータは水平飛行中毎秒0.6ケ程度であるがCAL中は毎秒8回のデータが送信される。

コマンドについては6チャンネルのうち1チャンネルをPI用に使いEVENTとCALの切

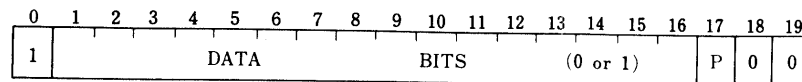


図4 データワード形式

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
c/f	ID						DATA									
X 0	0	0	0	0	0	0	COINCIDENCE									
X 0	0	0	0	0	1		TIME									
X 0	0	0	0	1	0			GA								
X 0	0	0	0	1	1		PIC-1									
X 0	0	0	1	0	0		PIC-2									
X 0	0	0	1	0	1		PIC-3									
X 0	0	0	1	1	0		PIC-4									
X 0	0	0	1	1	1		PIC-5									
X 0	1	0	0	0	0		CRD-A (1+3)									
X 0	1	0	0	0	1		CRD-A (2+4)									
X 0	1	0	1	0			CRD-B (1+3)									
X 0	1	0	1	1			CRD-B (2+4)									
X 0	1	1	0	0	0	0	MWPC-AX1									
X 0	1	1	0	0	1		MWPC-AX2									
X 0	1	1	0	1	0		MWPC-AY1									
X 0	1	1	0	1	1		MWPC-AY2									
X 0	1	1	1	0	0		MWPC-BX1									
X 0	1	1	1	0	1		MWPC-BX2									
X 0	1	1	1	1	0		MWPC-BY1									
X 0	1	1	1	1	1		MWPC-BY2									

X=0 for coincidence,=1 for calibration

図5 PHデータフォーマット

換えと COINCIDENCE を通常の CRD のみでなく PIC も組入れるモードとの切換えが順次ロータリー SW 方式で行なえる様にした。

電源についてはリチウム電池約 200 ケを用い、HV 用のみは電池から直接接続し、他は安定化回路をつけて供給した。回路間の干渉を避ける意味からも 1 系統の電流を極力少なく、又デジタルとアナログの回路を分離したので全体で 11 系統の安定化回路を用いた。安定化回路の部分は、ゴンドラの枠に取付けたアルミ板に組込んで、十分放熱が行なえる様留意した。電子回路全体の電力消費は、ADC 回路に TTL を用いた事もあり全体で約 5 W と大きくなったので、スタイロフォンの箱に入れた上細いスリットをつけて、ほぼ中の温度が一定になる様にした。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ID						DATA									
0	1	0	0	0	0	TIME									
0	1	0	0	0	1	GA									
0	1	0	0	1	0	TEMP									
0	1	0	0	1	1	PIC-1									
0	1	0	1	0	0	PIC-2									
0	1	0	1	0	1	PIC-3									
0	1	0	1	1	0	PIC-4									
0	1	0	1	1	1	PIC-5									
0	1	1	0	0	0	CRD-A (1+3)									
0	1	1	0	0	1	CRD-A (2+4)									
0	1	1	0	1	0	CRD-B (1+3)									
0	1	1	0	1	1	CRD-B (2+4)									
0	1	1	1	0	0	MWPC-AX									
0	1	1	1	0	1	MWPC-AY									
0	1	1	1	1	0	MWPC-BX									
0	1	1	1	1	1	MWPC-BY									

図6 PCデータ (Monitor) フォーマット

3. 地上データ処理系

気球搭載機器からのPCM変調されたテレメータ電波はSBCにおいて受信復調されて、位相変調PCM信号としてPIのデータ処理系へ供給される。

この受信データを収集、処理するためMC 6800を主体としたマイコンシステム2組を作成し、SBCと移動観測車(鳥海山)で同時にデータ取得、監視が行なえる体制としたが、今回はSBCでのみ受信処理をした。このシステムの構成は図7に示す如くで、受信機からのデータを位相検波後、パリティチェックを行ない、各ワードのデータ部分16ビットを並列データとしてマイコンシステムへ送りこむ。このインターフェースでは別に4種のPCデータについて、DA変換を行なってペンレコーダで記録する事によってモニターする事が出来る(図8)。

マイコンシステムで行なう仕事としては次の5項目である。(1)入力したデータをそのまま1ブロック256バイトでカセットMTに書込む。(2)PHデータから各機器(CRD-A, B, PIC)の波高分布を集積する(図9)。(3)CRD-AとB, CRD-AとPICの波高の相関図を作る。(図10) (4)10イベント程度毎に1回各機器の波高とMWPCで定まる粒子の位置、方向を表示する(図11)。(5)機上クロック, GA, 温度等の表示, システム内のデータ処理

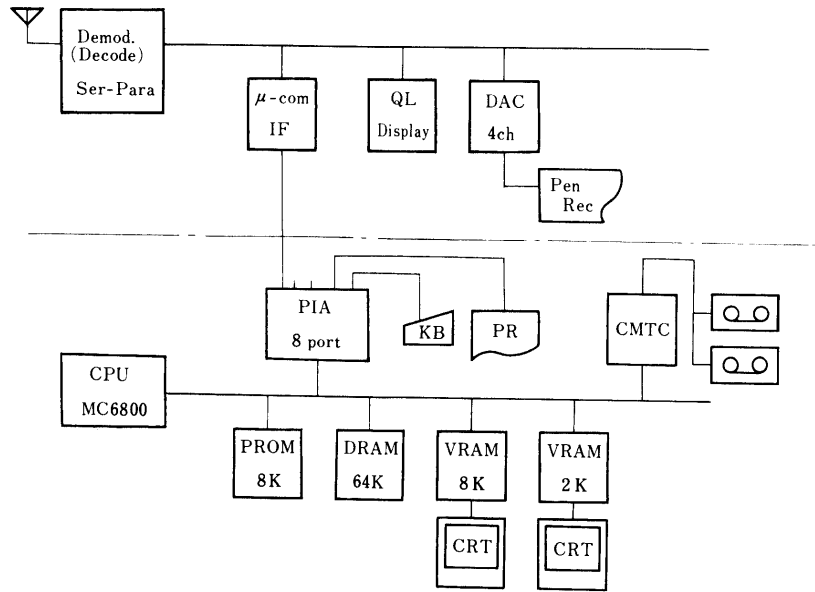


図7 地上データ処理マイコンシステム・ブロック 図

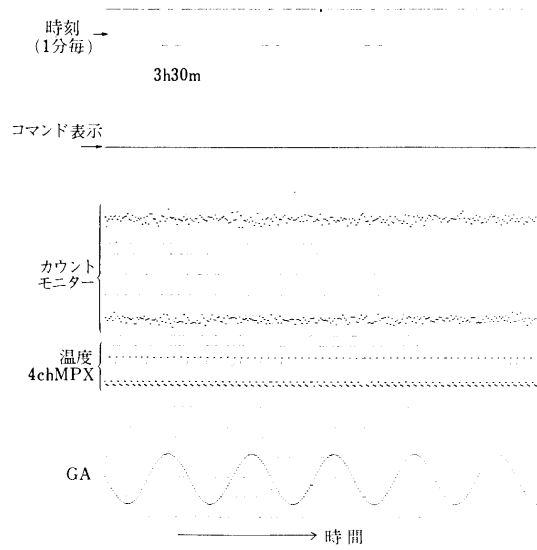


図8 Monitor 記録

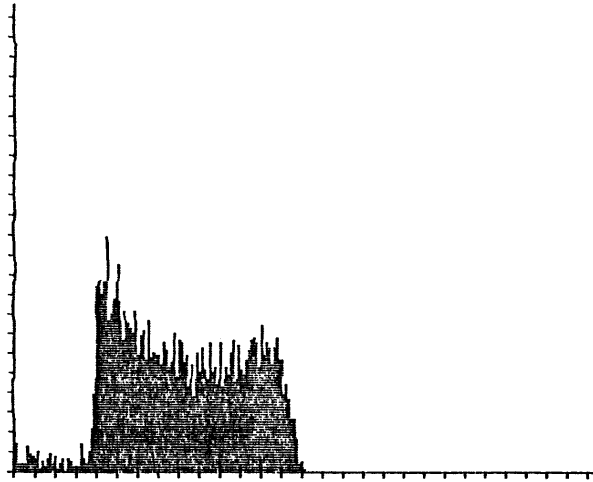


図9 PIC Calibration の波高分布

A:B TIME 0836

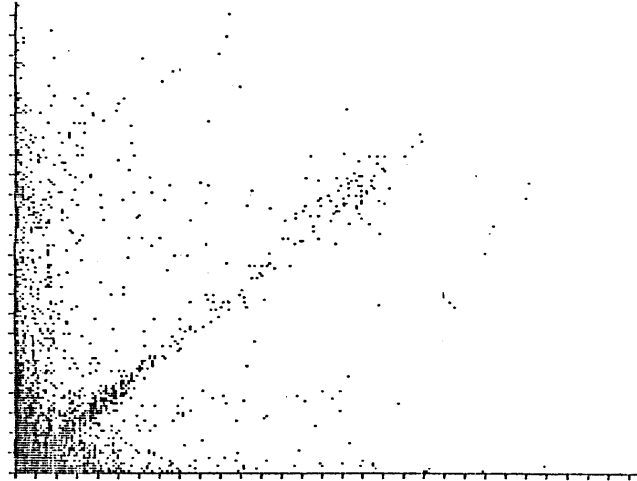


図10 CRD-AとBとの波高相関図

4. 飛揚実験

今回の実験は1980年5月19日18時28分(日本時間)放球されたB50-16によって行なわれ搭載機器の総重量はバラスト80kgを含めて約294kgであった。気球は約130分後SBC東方約100kmの地点で高度31km(10.3g/cm³)に達し水平浮遊に入った。

気球はその後、ゆっくり南西方向へ移動しながらそのままの高度を維持した。その後21時頃よりコマンド指令を送信したり、測距信号を送信したりしても、応答が得られず、コマンドによる制御は殆ど出来なくなったが、データの取得は順調に行なわれた。翌20日午後になってもコマンドの不調は復旧せず、16時頃から日没による高度低下が始ってもこれを補償する事が出来なかった。(図13) この結果水平浮遊のデータとしては約19時間の観測しか出来なかった。その後夜半近くになってコマンド制御が出来る様になったが、既に東南方200km以上離れており、安全性も考えて観測を中止する事とし、5月21日午前2時8分にカッターを作動させPIを海上に降下させた。

PIの作動状況は、飛揚後23時頃迄はすべての機器が正常に動作し、予期通りのデータを送って来たが、その後MWPCのカウン트가急激に減少し、位置データの取得が出来なくなった。CRD-A, B, PICの各データについては観測終了迄すべて正常に作動し、良質のデータを得る事が出来た。MWPCの故障の原因についてはカウンモニター(PCデータ)の変化の状況からMWPCへ供給する高圧電源回路中のフィルターのポッティングが不良の所があり、ここからリークが起り、当初は回復とリークとを繰り返していたが、約1時間後に完全に短絡してしまったものと思われる。その他PICのカウンモニターにゴンドラの回転と、コマンドのON/OFFにも関連したノイズ(高カウン)が見られた。これはPIC

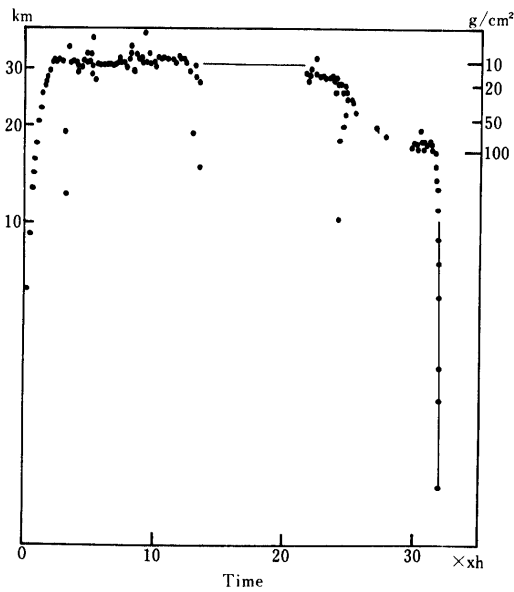


図13 B50-16 高度曲線(点の乱れはコマンドの不調による)

の増幅器回路をチェンバーの近くに置いたが、その近くを気球制御の為の線が走っており、ここからの干渉によるものと思われる。但しこのカウントはイベントデータに対しては殆んど影響を示していない。飛翔中検出器の温度は -40°C 迄下がったが、電子回路系は -10°C には達せず、温度変化による感度の変動は殆んどなかった。

地上データ処理系も当初の計画通り作動し、カセットMT 38本にデータを取得した。このうち上昇中と水平浮遊中の初期計2時間程度はCALモードのデータを取得し検出器の感度の較正を行なったが、その後はコマンドの不調のため、CALデータの取得は行なえなかった。

5. 観測結果

SBCで取得し、カセットMTに記録したデータは東京で、ミニコンを用いて通常の電算機用磁気テープに変換し、これを使用してデータ解析が行なわれた。このテープ中には、通常のEVENT (PHデータ)、CAL (PHデータ)並びにモニター (PCデータ)が混在して

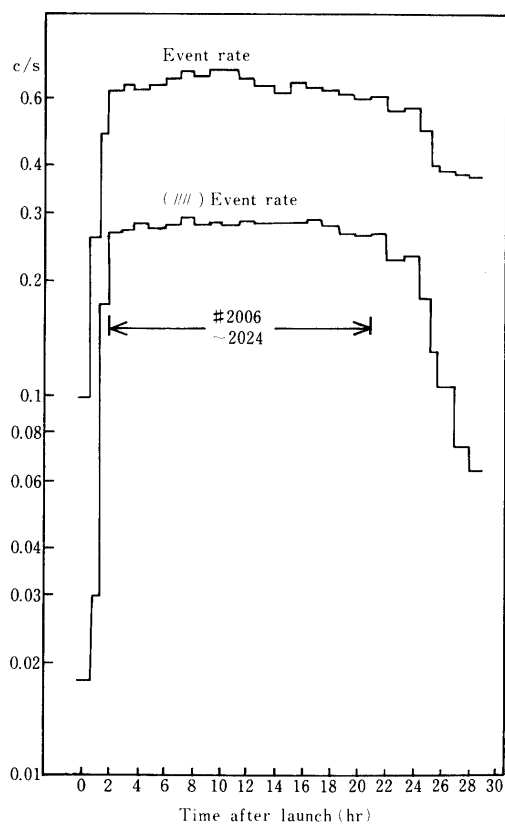


図14 イベント数の時間変化

いるのでこれらを分離した。この過程で受信状態不良、測距等による誤データは、各ワードについてIDビットの順序関係をチェックして除去した。全体で取得したデータは夫々EVENT: 59,624, CAL: 40,285, モニター: 105,411ケで除去されたデータは全体の17%であるが、この大部分はコマンドのテストや測距時に入ったもので、水平飛行中は3~5%の誤り率であった。

データ解析では5月19日20時18分から20日15時19分迄の水平飛行中のデータのみを取扱った。この19時間のうち、CAL中を除いて正しいモニターデータは64753ケあり、従って実観測時間は17.99時間であり、この間に記録されたEVENTの数は42,479で、平均毎秒0.656ケであった。EVENTの中にはシャワー粒子等が同時にPMを貫いたもの等もあるので、CRD-A, Bの4つの系統すべてに $Z \geq 4$ の粒子に相当するパルスが生じたものに限ると計17,151 eventsで、平均毎秒0.265ケとなる。この値は装置の立体角等から期待されるものと良く合っている。図14にEvent数の時間変化を示してある。

記録されたデータの解析に当っては、先ずCRD-A, CRD-Bの夫々について2ケの出力パルス間の相関図、及びCRD-A, B夫々の平均パルス波高間の相関図を作って検討した。

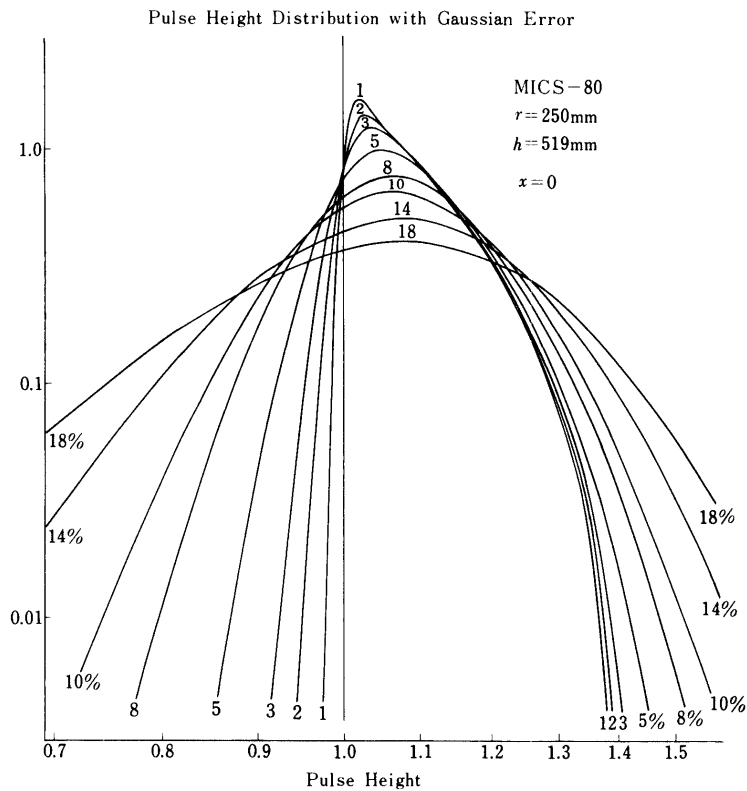


図15 装置の立体角と光電子数のゆらぎ(ガウス分布)を考慮した波高分布, 図中の数字はガウス分布の標準偏差を示す。

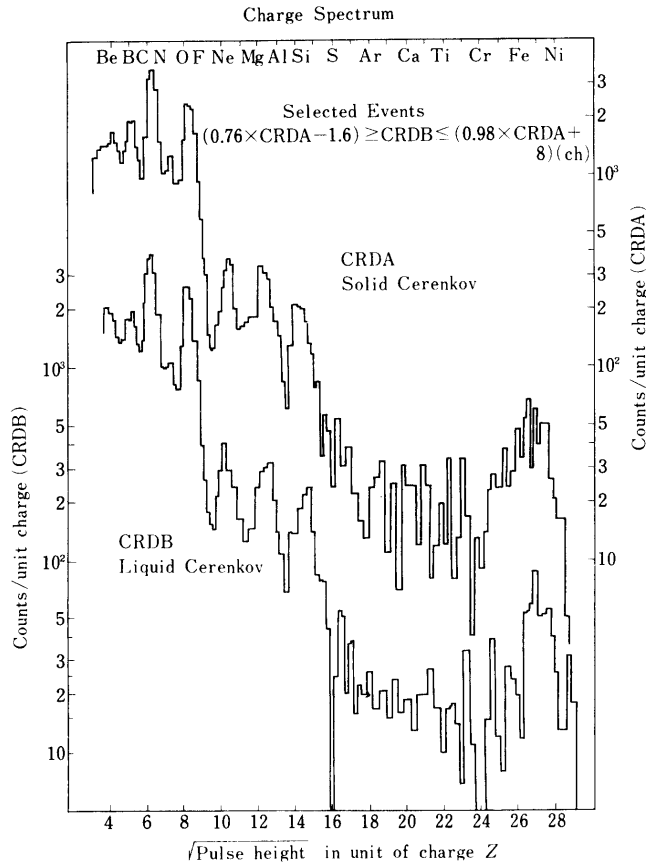


図16 観測された波高分布から求めた荷電分布

その結果CRD-A, Bの2ヶの出力間では

$$\begin{cases} 0.925 * (CRD-A1) - 9.0 \leq (CRD-A2) \leq 1.088 * (CRD-A1) + 9.0 & \text{(チャンネル)} \\ 0.844 * (CRD-B1) - 12.0 \leq (CRD-B2) \leq 1.238 * (CRD-B1) + 12.0 & \text{(チャンネル)} \end{cases}$$

という制限をつける事によって、粒子が光電管を通過したり、シャワー粒子による等の、ノイズを除去出来る事が判明した。この相関図の上でZ分布によるデータの固まりが十分判別出来るので、パルス波高のZによる依存性を容易に求められる。今回はMWPCが途中で故障した為、粒子の入射方向が定まらず、従って天頂角による検出器中の飛程の差を補正する事が出来なくなった。そこで検出器の立体角から期待される飛程の分布を考え、これにチェレンコフ光によって生じる光電子数のゆらぎがガウス分布に従うとして、この変動を含んだ分布を計算した(図15)。この曲線と実際に観測した波高分布を比較する事によってZ毎に検出器を垂直に通った時の波高に対応するチャンネル数と、光電子数のゆらぎの標準偏差とを

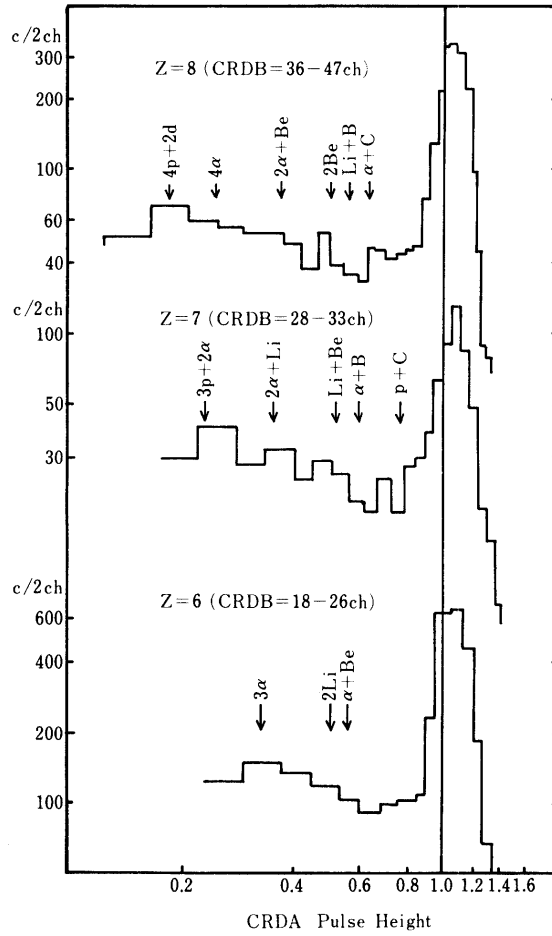


図17 CRD-Bの波高から定めたZのグループ毎のCRD-Aの波高分布

求める事が出来る。

この様な解析によって垂直に通った時の波高値はCRD-Aでは $0.746 Z^2 ch$, CRD-B については $0.6339 Z^2 - 2.5 ch$ となる事が決められた。この様な対応によって波高値をZに変換すると、図16に示す様な荷電分布が得られ各粒子のZは $\Delta Z = \pm 0.5$ 程度で定められた。又CRD-AとCRD-Bとの相関図から、CRD-Aの波高がCRD-Bより小さいものがより多く存在する事が見られ、これは検出器を通過する間の spallation によるものと思われる。2, 3の原子核についてCRD-Bの波高のある範囲に対してのCRD-Aの波高分布を図17に示してある。

PICのデータについては、各イベントにつき5ケのPHデータが得られる。そこでこの5ケのデータの平均(PICAV)と分散(σ)を求めた上、CRD-A, Bで定めたZのグ

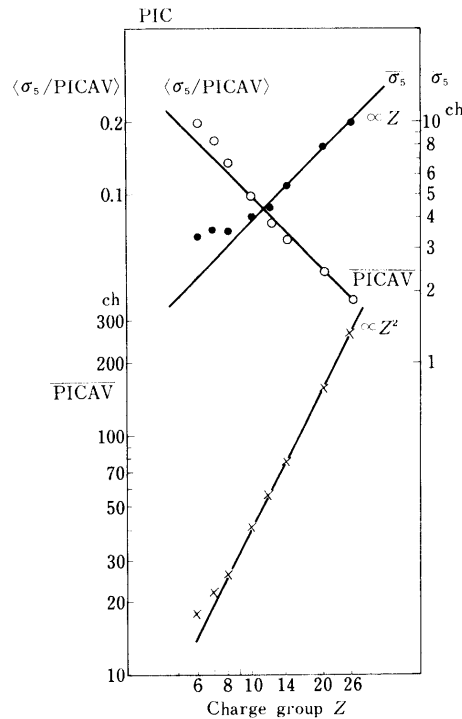


図18 PICの波高の平均値 (PICAV) と標準偏差 σ_5 の Z に対する変化

グループ毎にそれらの平均を求めた (図18). この図から見られる様に $Z \geq 8$ の部分では PICAV は Z^2 に σ_5 は Z に良く比例し、従って σ_5 / PICAV の平均は $1/Z$ に比例している. これは気体中のイオン数が $Z \geq 8$ ではガウス分布に従っている事を示している. $Z < 8$ では σ_5 は Z に比例せずこれより大きくなって、分散がガウス分布より大きくランダム分布に移行している事を示している.

CRD-A, B の両波高が良い相関を示すイベントは4つの出力全部に $Z \geq 4$ のパルスが生じた17151例中、14835例、毎秒0.23であり、これは検出器の全物質 (約 5 g/cm^2) を spallation なしに通過した粒子の数と考えてよい. そこでこれらの event のうち特に多い偶数 Z の核について CRD-B のパルス分布の中央部分約60~80%の部分に図15の理論分布を当てはめて、分布全体の計数積分値を求める. 次に奇数 Z の核については偶数 Z の核の分布の影響を引き去ってから同様な分布をあてはめて計数積分値を求めた. (図19に CRD-B についての例を示す)

今回の実験は大気の深さ 10.3 g/cm^2 で行なわれたので大気頂上での一次宇宙線の各成分の比率を求めるにはこの大気中の重い原子核の spallation や核相互作用による影響を補正する必要がある. 今迄の加速器や宇宙線の実験結果を用いてこの補正を行なった結果、図20に示す様に Z 分布 ($Z=6$ の値に対する相対値) を得た. この図には従来、より低いエネルギー領域で得られた高い精度の5種のデータと、より高いエネルギー領域の Simon のデー

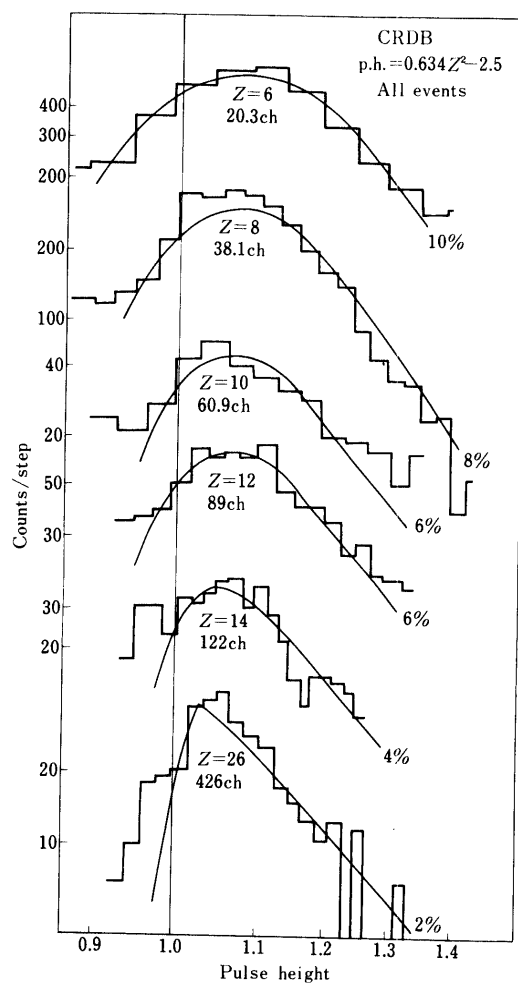


図19 実測と理論的波高分布の比較

タとが一諸に示してある。低いエネルギー領域でのデータと比較すると偶数 Z の重い原子核（特に鉄）がより多く存在する傾向が見え、逆に奇数 Z の核は少ない様に見える。Simonの結果にもこの傾向が見えるので、高いエネルギー領域になる程一次成分である偶数 Z の原子核がより高い割合で存在しているといえる。

Z に対する存在比のみでなく、主要な成分については観測結果から大気頂上での flux を計算し表2に示した。この計算の際には図15の飛程分布を計算するプログラムを利用して求めた測定器の実効面積・立体角($S \Omega_{eff}$)を用いた、装置の幾何学的な面積・立体角($S \Omega$)は $1005 \text{ cm}^2 \text{ str}$ であるが、大気の深さ(X)を平均吸収行程(λ)で計ったものに対し図21

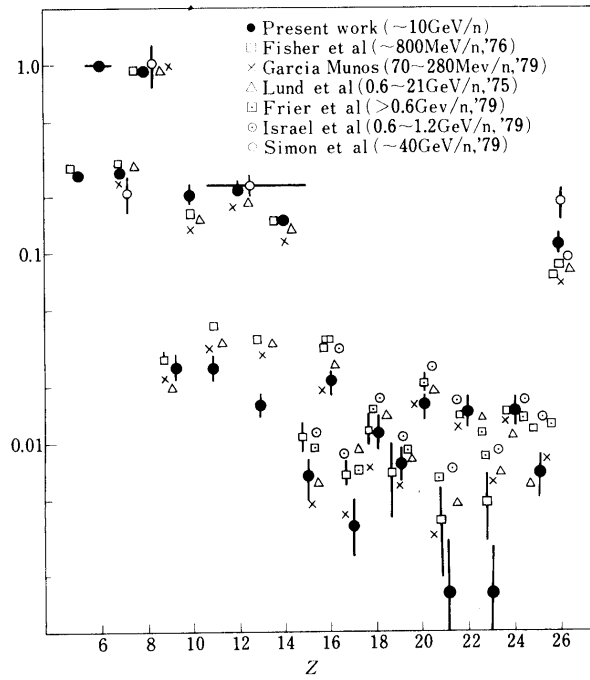


図20 大気頂上へ補正した荷電分布 $Z = 6$ の値でノルマライズしてある

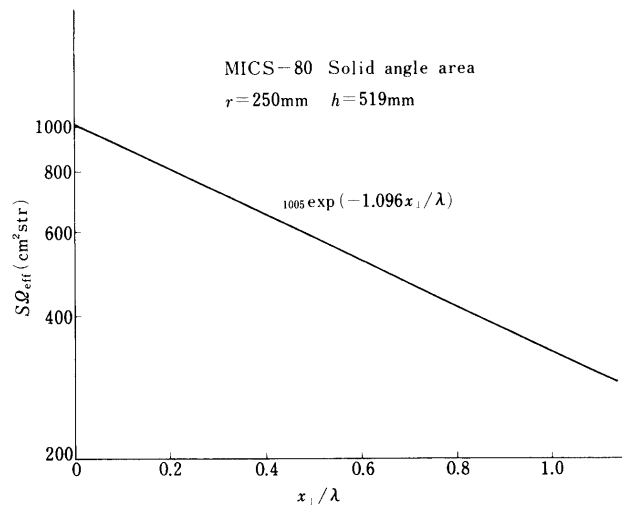


図21 実効面積・立体角の大気の深さに対する変化

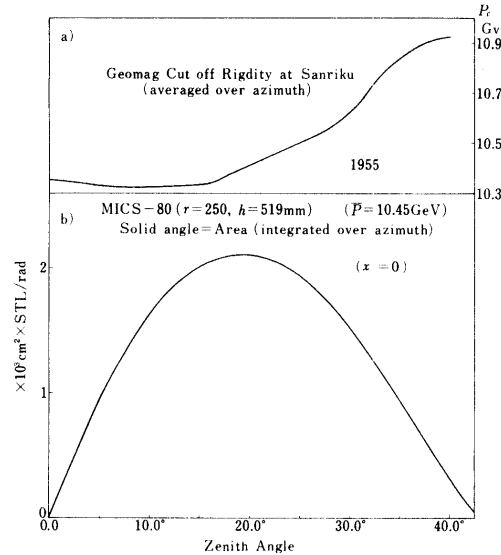


図22 (a) 地磁気切断運動量の天頂角分布
(b) $S Q_{eff}$ の天頂角分布

に示す様な変化を示す。つまり粒子の天頂角分布を考慮に入れると、実効的な平均吸収行程 (λ_{eff}) は $\lambda / 1.096$ となっている。

又、今回は粒子の到来方向の測定は出来なかったが、天頂角・方位角の変化に伴って地磁気による切断運動量 (P_c) が変化するので、この影響については別稿(1)で報告した SBC 上空での P_c の方向分布を考えに入れると天頂角に対して (方位角方向は平均した) 図21-a に示す様になる。これと図22-b に示した天頂角に対する $S Q_{eff}$ の変化とを考え合せると、今回の実験結果は、 $P_c = 10.5 \text{ Gv}$ のデータと考えてよい。

以上述べた測定結果は、定性的にも定量的にも従来得られて来た結果と良い一致を示しており、宇宙線の起源から地球へ到達する迄の物質通過量がエネルギーと共に減少してゆく傾向とも合致する。まだ統計的な誤差も大きく種々な補正についても細かい検討が必要であるが、より高い統計精度と広いエネルギー範囲での測定を繰り返す事により、更に精密な検討が行なえるであろう。

結 び

1976 年以来開発してきた MICCS システムのプロトタイプを使用して、一次宇宙線中の重い原子核の荷電分布について約18時間 10.3 g/cm^2 大気の深さでの測定結果を得た。装置の一部 (MWPC 及びコマンド) に故障を生じた為、個々のイベントについては荷電 Z の誤差が大きくなったが、統計的処理により、一次宇宙線の荷電分布を詳しく求める事が出来た。今回の実験結果を基礎にして、更に大型・軽量で、高精度の観測装置の設計・製作が進行中で 1981 年 9 月には、次の気球搭載実験が予定されている。

終りに大気球実験に当っては、西村教授を始め、宇宙研大気球実験班の各位に多大の御援助と御協力を頂いた事について謝意を表するものである。

データ処理特にデータ変換については理研計算機室のシステムを利用させて頂き種々御協力を賜った。データ解析については核研計算機室の M 180 - II A D システムを利用した。

表 1. 大気頂上の一次宇宙線強度

Charge	Event No.	Correction Factor		Total Correction Factor	Flux at the top of the atmosphere
		Air	Wall		
6 : C	3835	1.494	1.015	$1.516^{+0.029}_{-0.023}$	$(9.14^{+0.34}_{-0.30}) \times 10^{-1} / \text{m}^2 \text{ str sec}$
7 : N	1020	1.517	1.015	$1.540^{+0.031}_{-0.024}$	$(1.68^{+0.14}_{-0.13}) \times 10^{-1} /$
8 : O	3383	1.543	1.016	$1.568^{+0.033}_{-0.026}$	$(8.34^{+0.34}_{-0.30}) \times 10 /$
10 : Ne	737	1.602	1.017	$1.629^{+0.038}_{-0.029}$	$(1.89^{+0.12}_{-0.11}) \times 10 /$
12 : Mg	766	1.637	1.019	$1.668^{+0.040}_{-0.032}$	$(2.01^{+0.13}_{-0.12}) \times 10 /$
14 : Si	522	1.676	1.020	$1.710^{+0.043}_{-0.035}$	$(1.40^{+0.11}_{-0.10}) \times 10^{-1} /$
26 : Fe	340	1.924	1.026	$1.974^{+0.063}_{-0.049}$	$(1.05^{+0.10}_{-0.09}) \times 10^{-1} /$

The error in correction factor includes the errors from the interaction mean free paths, 7%, fragmentation probabilities, 30%. The error in the flux includes the errors from these errors and statistical one.

参 考 文 献

- [1] 井上葵・和田雅美・近藤一郎：三陸上空の地球磁場による宇宙線切断運動量宇宙科学研究所報告特集第1号 P. 79