



記載の記事は宇宙線研ホームページ (<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/index-j.html>) からでも御覧になれます。

退官にあたって	荒船次郎	1	チベット空気シャワー観測装置の現状と最新の結果	大西宗博	8
宇宙線研究の進化論：随想「宇宙線研究所私史」	木舟 正	2	自己紹介	瀧田正人	10
			人事異動		12

退官にあたって

この3月に定年退官するまで宇宙線研究所には21年間お世話になった。大学院を出てからこれまでに、学習院、東大原子核研究所、高エネルギー物理学研究所、東京工業大学と多くの大学と研究所のお世話になったが、宇宙線研究所は一度出たあと戻ったので一番長くなった。

1979年に本研究所に着任した際、加速器で扱うよりも遥かに高いエネルギー領域の素粒子物理学を研究することは研究所の目的に合うだろうから、大統一理論を検証する陽子崩壊実験を理論家として応援することを考えた。当時の所長は三宅三郎先生で、世界で初めて大気ニュートリノを観測した業績のある、豪快でお酒に強い明るい先生だ。三宅先生とはよく大統一理論の議論をしたが、しかし、当時の研究所で理論研究者は私独りだったし、当時の研究所では未だ大学院生は博士からしか採らない方針だったので学生もおらず、純粋理論の議論をする話し相手がどうしても欲しかった。そこで文部省の流動研究員制度を利用して、半年滞在の理論家の流動研究員を申請し、のちに客員部門が出来てからはそれを利用して、毎年、優れた理論家に来ていただき、楽しい思い出も沢山出来た。その頃、研究所の目的に宇宙物理学の比重がもっと高くてよかった。本研究所の私の任期であった7年目の1986年に、幸い磯親

荒 船 次 郎

先生が東工大に招いて下さった。着任して実感したことの一つは、研究所よりも学生が大勢いて活気があり実に楽しく、学生の存在が研究の活性化と健全化に本質的だということだった。

翌1987年に突如、宇宙線研究所の所長に決定され、私にはむいていないので一度は手紙で断ったものの、研究所の置かれている状況などから断りきれず遂に受けてしまった。東工大にはご迷惑をかけた。ほぼ必然的と思うが、将来計画の中心にニュートリノ物理と大統一理論検証の研究を目指すスーパーカミオカンデ計画を置いた。旧カミオカンデ実験が超新星1987aからのニュートリノ観測に成功した実績があるので計画の最終的な実現は信じていましたが、初めのうちは何処にもとりつくしまがなく、もし実現に失敗したら研究所を辞める覚悟をした。近藤一郎前所長の大変な努力で研究所の共同利用運営委員会の組織や運営方法は大幅に改組されており、お陰で不慣れな私でも委員の方々に助けられながらやって行くことができた。菅原寛孝先生（現KEK機構長）には大変親身になって応援していただいた。共同利用運営委員会の委員にまでなってもらって下さり、計画実現のために必要な大先輩達の説得はほとんど菅原先生がして下さいました。菅原先生なしにはこの計画は実現しなかった。東大の森総長、有馬総長、吉川総長に

は大変お世話になり、今も感謝している。とくに有馬総長は物理がご専門なので計画の意義を深く理解され応援して下さった。小柴昌俊先生は立案者のお一人だから勿論だが、西川哲治先生（現東京理科大学長）、古在由秀元天文台長、故小田稔元理研理事長にも大変お世話になった。その他多くの先輩、友人、同僚から応援・協力をしていただき、文部省の方々にもご支援をいただき、今考えても、本当に多くの方から暖かく応援してもらえた幸せな計画だったと思う。そして勿論、当事者の戸塚洋二先生を中心として中村健蔵、鈴木洋一郎、鈴木厚人、梶田隆章、中畑雅行らの諸先生の一丸となつての懸命な努力のお陰で、1996年3月に完成を見。後1998年、この実験がニュートリノ質量の発見という大成果をあげ世界を驚かせたのは皆様ご存知の通りである。



1997年に私は所長職から解放され、その後、無事に理論の学生さんや若い研究者の人達と4年間を過ごすことができた。かつて国際会議で訪れた諸都市や田舎の人々や文化のこと、研究所で開かれた国際会議や諸行事のこと、友人や学生さん達との楽しかった物理の議論のこと、そして若くして亡くなられた山越和雄先生と原子核研究所の藤田雄三さんのことなど、多くの思い出はこれからも忘れることはないだろう。無事定年を迎えることが出来たことに、研究所内の皆様および所外の皆様へ、この場をお借りして心より感謝申し上げますと共に、また、この4月から大学評価・学位授与機構に参加しますが、今後とも宜しくご指導・ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。



研究紹介 1

宇宙線研究の進化論：随想「宇宙線研究私史」

木 舟 正

1. はじめに

宇宙線研究所が発足してからの25年の間に宇宙線研究の内容は大きく変化した。この間にやってきたことやその背景などを、宇宙線研究を始める前の大学院時代からのいささか個人的なことをも含めて表にしてみた。この文を組み立てる粗筋を作るもとにした。本文の記述の説明不十分さを補う効果を期待して敢えて掲げておくことにした。

大学院に入ったころ、原子核研究所の750MeV電子シンクロトロンが稼動を開始した。素粒子・原子核・宇宙線の各分野の分化が進行し始めた。陽子加速器を建設する「素粒子研究所」計画について、「大学付置か国立研か」、予算の1/4縮小案をめぐって「物理がどうなるか」、あるいは「素粒子研究所は

ブルドーザーとなるかそれともダンプカーか」(分野全体の将来への道をならず役割を果たすか、あるいは他に迷惑をかけることになるか) 等等議論が沸騰した。結局、国立高エネルギー研究所(KEK)が宇宙線グループは加わらない形で発足した。原子核研究所宇宙線部と乗鞍観測所を合併して宇宙線研究所が設立されることとなった。その頃からは宇宙線研究者連絡会議(CRC)の構成メンバーも大きく変化している。時代が1サイクル回った感がある。近隣学問領域の流動的改編がやがておこるだろうと予想させる内的小および外的諸要因がいろいろある。この四半世紀の間に体験したことを書き留めることにもなにかがしかの意味があるだろう。

1970年ころまで加速器実験の分野は日本では弱小であった。当時の若手研究者の集まりでは加速器実

表1 : 「宇宙線私史」年表

	背景	所属/場所	していたこと/できごと	人/宇宙線
1950年代末 1959*	チェレンコフ望遠鏡 ガンマ線天文学 (早川) 「60年安保」	大学入学		武谷三男著 「弁証法の諸問題」 etc.
1963*	「素研問題」	大学院 (西川研究室・核研電子シンクロトロン) D2から	+ N + N e ⁻ + Si 疑単色偏極線 Quarks in Cosmic Rays?	小柴先生、須田さん、 菅、三浦両先生
1968*	「大学紛争」	理学部助手	同上; collider	
1969*		宇宙航空研助手	(Space plasma; Ionosphere)	
1972	HEAO C (Einstein)	Columbia (NYC)	X ray detector; polarimeter : 核研での集中「講義」 X ray polarimeter 一次元 X ray reflector	小田、西村両先生 佐藤文隆さん
1974*			Perseus cluster of galaxies	
1975 1976	「KKG vs CAOS」 「明野建設」 Nucleon decay ?	核研宇宙線部 宇宙線研究所	空気シャワー部に参加 μ on検出器 (比例計数管) anisotropy of cosmic rays	三宅、鎌田両先生他
1981*	Cyg X 3 (Crimea)		visit Cherenkov site (Utah)	K.E. Turver
1983	Cyg X 3 (Kiel)		Cyg X 3 (明野データ) (CDFへの参加?)	N. Porterの滞日
(*) (*)			KAMIOKANDE	須田
1985、86		Durham	e ⁺ IC, Sync. radiation	A. Wolfendale
1986	CASA		「SPICA」	J. Cronin
1987	SN 1987A		burst !	
(*)		(New Zealand)	JANZOS; adding of TeV	佐藤文隆、長谷川博一 の両先生
1988*			Proposal of IACT	の両先生
1989	Crab (Whipple)			TeVガンマ線天文学
1990*	科研費総合A	(Australia)	CANGAROO : 3.8m	
1995*	重点領域		高エネルギー天体 : 7m	
1999*	拠点形成		CANGAROO III : 10m x 4	

験が欧米の追従でない「日本独自の研究成果」をあげられるかと宇宙線分野から懸念が提出されたことを興味深く思い出す。「非加速器素粒子物理」ということが十数年前から唱えられている。加速器実験の側からの動きとしてしかも「international」な背景のもとに進行しているからである。

2. 宇宙線研究の「identity」?

宇宙線研究とはどのような内容をもつものであるのかまず考えておきたい。そしてそれがどう変化してきたかをふりかえてみたい。小田稔先生によれば宇宙線研究の目的・特徴は(1)宇宙線の起源 (origin) と(2)伝播 (propagation) (3)素粒子物理学との関係 (particle physics) に整理できる。学生のころ読んだ「武谷三段階論 (物理学の発展を現象論的段

階、実体論的段階、本質論的段階に分けて研究の方法論を考察する)」にあてはめると、宇宙線研究は今や現象論的段階から実体論的段階にさしかかっていると考えたい。「本質論」をも視野にいれる必要が迫っている。

(1) 宇宙線の起源

宇宙線の加速源の解明は依然として宿題として残っている。しかし、今やガンマ線による天体観測の窓が開いた。加速源を直接的に同定し、超新星残骸などの特定のどの天体が「宇宙線の起源」となっているかが解明できそうになってきた。加速源となる天体の発見からさらに進んで、非熱的現象・粒子加速がなぜ起こるのか、宇宙の諸現象の中で粒子加速過程の解明がどんな科学的意義をもつかが次のステップの課題となる。また、銀河系外からのガン

マ線が検出にかかり始めた。これまで銀河系に限られてきた宇宙線の研究が銀河系外へ拡大しようとしている。宇宙線と銀河磁場のエネルギー密度がほぼ等しいことから示唆されているように、宇宙線は銀河の構造と密接に関連している筈である。天の川銀河以外の銀河からの宇宙線の観測から、銀河全体の構造と宇宙線の関係を今までより広い視点から解明できるようになる。

(2) 宇宙線の伝播

原子核研究所宇宙線部から素粒子研準備室を経てKEK・筑波大へ移られた三浦功先生が太平洋戦争のさなか理研において大気温度と宇宙線強度との関係を講演されたときのことを書いておられる。長岡半太郎、田中館愛橘両大御所が出席しておられたそうだが「宇宙線とはそれ以前の現象ではないのか。それを知りたい。君のみにているのは途中線の現象だね」とコメントされたそうである。「途中線」という言葉が否定的なニュアンスで使われたようである。しかし私にはむしろ宇宙線の複雑なふるまい、伝播現象をいい得て妙であると感じられる。宇宙線研究の目的・特徴にあてはめると、「途中線」は伝播の過程で起きる諸現象に対応する。

大気内だけでなく広く宇宙空間で宇宙線・高エネルギー粒子はカスケードシャワー現象を引き起こす。大気を星間空間などに置き換えれば、宇宙線が伝播中に放射するガンマ線を観測することはまさに「途中線」の現象である。宇宙線強度が大気との相関をもつように、ガンマ線強度は宇宙空間の諸パラメータに関係する。「途中線」としての宇宙線のふるまいから、星間あるいは銀河間空間、加速領域の構造までが診断できるようになった。

(3) 素粒子相互作用

宇宙線研究には二つの側面がある。未知の現象の宝庫である宇宙そのものについての「知」を求めることがある。もう一つは、地上実験室では実現・到達の困難な物理法則を探る「道具」として宇宙線を利用することである。宇宙線が大気中で起こす素粒子相互作用を宇宙線研究の主要な研究課題としてきた。加速器の発展とともにエマルジョンや空気シャワーアレイを使った観測・研究の比重は低下した。しかし、加速器の上限エネルギーを越えた宇宙線は依然として存在し、また、宇宙線の特徴はエネルギーの高さだけではない。宇宙線の巨大な空間スケールや中性子星などでの極限的環境条件などが宇宙線の生成・加速・伝播に関与している。天体からあるいは大気中で生成されるニュートリノを利用することが実現した。ダークマターが宇宙線を放射

するexoticな過程など新しいタイプの研究課題が潜在している。

(4) 広い意味での宇宙線

上にあげた3つの、宇宙線研究の特徴は多様な具体性を獲得しつつ変化・発展・進化している。天体物理学の他のさまざまな領域との接点が広がり、宇宙線研究の対象領域が拡大しつつある。「広い意味での宇宙線」という言葉がたびたび使われる。このことによって宇宙線研究の特徴が希薄化され、天文学の雑多性の中に埋没してしまう危惧をなしとしない。宇宙線研究の「identity」が失われてしまわないように、発展段階に即して「特徴と目的」を常に更新する努力が必要である。

3. 宇宙線研究vs時間軸

宇宙線研究所はミュニュー部、空気シャワー部、エマルジョン部、一次線部の構成で発足し、これらの部門の名称に対応する研究内容を核研宇宙線部と乗鞍観測所から引き継いだ。研究所全体について延べだすと長くなるから私の所属した空気シャワー部と比較的深く関与したことがらだけに限ることにする。

空気シャワー部の研究の推移

空気シャワー部では明野観測所がスタートし、電子、ミュオン、ハドロン及びチェレンコフ光の各成分による「総合的な」空気シャワー観測を「目玉」とすることになった。建設装置の内容がスムーズに決定されたわけではなかった。宇宙線若手世代のCAOS (Computer controlled Air shower Observation System) グループの「中小サイズのシャワーを精密観測する」主張があったが、KKG (鎌田甲一先生のイニシャルにGroupのGを加えた略称と呼ばれた建設実行グループ)のキーワード“multi parameters” (多成分観測)が明野観測所として実現された。特に、ミュオン検出器の面積はそれまでの空気シャワーアレイに比べ桁程度広くなった(総計200m²)。電子サイズとミュオンサイズの比をみることによって10¹⁶~10¹⁷eV領域での化学組成についてある程度推定できると私は期待していた。甘かったようである。

1976年に菅浩一先生が音頭をとって「5年後10年後の空気シャワー実験」というタイトルで早川幸男先生や佐藤文隆さんや勝彦さんも出席された研究会があった。宇宙線屋5人の講演では、(a)大 P_T (横向き運動量)現象;(b)異方性の観測;(c)GZKカットオフからの超高エネルギーニュートリノ;(d)エマルジョンと空気シャワーアレイの連動実験;(e)水平方

向からのシャワー、ミュオンが作る空気シャワー；初代相互作用による高エネルギー成分の観測、空気シャワーからの電波；などの研究課題があげられた。新参者の私にまとめの役がまわってきた。5人の講演内容を(1)水平方向からのシャワーによるミュオン、ニュートリノの相互作用、(2)最高エネルギー領域の宇宙線、(3) 10^{18} eV領域の相互作用(4)近接分野（宇宙線内部の）との協同研究に整理してみた。当時の大勢的な考え方ということになる。私自身の展望としては、10年後に超新星が爆発してひょっとしてガンマ線がやってきてその検出によって組成と相互作用の両方を一挙に解きほぐせるだろうという楽観的な可能性を付け加えた。超新星爆発はSN1987Aで実現したが空気シャワー現象を解釈するあいまいさを解くにはまったく役にたたなかった。

明野の建設・観測が一段落して次のステップが話題になり始めた頃、明野アレイの拡張により宇宙線の到来方向の異方性を主要な観測目的とすること（水タンク検出器を数km×数kmにわたって設置）を考えたこともある。菅先生のグループは音波や電波によって空気シャワーを検出する方法を試みていた。明野のミュオン検出用比例計数管のガスをヘリウムに詰め替えて磁気モノポールを探索する実験も原さんが中心となりKEKなどのサポートを得て行なわれた。またガンマ線観測が話題となり始めたころ、チェレンコフ観測を行なう太陽熱利用のための鏡を利用したチェレンコフ望遠鏡などのテスト観測も行なわれた（ミュオン部を中心とするグループにより明野観測所で実施）。

さまざまな方向が模索されたが、結局、空気シャワー部は最高エネルギーを目指す方向とガンマ線検出との二つに分化することになった。ガンマ線観測は空気シャワーアレイ（SPICA）を経て海外でのチェレンコフ光の方法へと明野観測所の外へでることになった。

必然と偶然と人間

宇宙航空研にいたころ、小田先生に紹介して頂いて米国でX線の分野に首をつっこんだことがある。それから空気シャワーをやることになったのは「進化」を逆行する道を選んでしまったのではないかとの思いを持ち続けてきた。しかし、決してそうではなく意味のあることだったとわりきるようになったのはつい最近である。明野計画の建設終了以来、次の研究課題の選択に揺れ動いていた。各時点で「正しい」選択をしたのか思い悩んだけれども、結局は個人の恣意ではいかんともし難い「必然の道」にほぼ沿ってきたのだと考えることにしている。必然的

だということが「法則性」に従って起きるということだとすると、「必然の道」は正しい道ということになるのだろうか？

実に多くの互いに独立な要因が偶然的に重なって、解像型チェレンコフ望遠鏡によるガンマ線観測が実現した。気象条件の良い海外での観測が可能になったのには、まず、超新星1987Aの爆発がある。ついで、JANZOS共同研究が宇宙線研究の各細分野の垣根を越えて組織されたことがある。1980年代の「手詰り」に似た状況でのガンマ線への期待感が良い方向に作用した。佐藤文隆さんが責任者の労をとってくれた。空気シャワーアレイに加えてTeV領域の観測が可能になったのは明野観測所のチェレンコフ観測で使用した球面鏡をすぐ利用できたからである。さらに、国立天文台堂平観測所の望遠鏡が入手できたのは、堂平3.8m望遠鏡と天文台の事情およびJANZOSについて長谷川博一先生が精通しておられたおかげである。これらのうちどれかが欠けていたら、超高エネルギーガンマ線観測へのわれわれの参入はもっと違った形になっていただろう。

世界全体をながめる立場からは、観測対象の選択についての方針転換が“break through”のきっかけとなっている。80年代には、X線連星Cyg X 3などからのガンマ線が話題を呼んでいた。X線連星Her X 1について偶然とは思えない信号の報告があった。Whipple観測所のデータも一役をかったが、解像型チェレンコフ光望遠鏡の解析を適用すると信号が消えてしまうことがわかった。そもそもTeVガンマ線観測の試みを40年前に初めて惹起させた原点であるCrab nebulaに立ち戻ってみると超高エネルギーガンマ線の信号の検出が確立した。このいきさつを振り返ってみると、つい楽観的な気分にとらわれる。たとえ偶然的に袋小路に迷いこもるとも、遅かれ早かれ自然が設計した「必然的流れの大通り」に合流するのだ、言い替えれば、努力はいつかは報われるのだと考えても良いのだろうか？

このような試行錯誤的過程が進行したのは空気シャワー部だけではない。ミュオン部のミュートロン実験の次の将来計画として提案されていたDUMAND計画は日の目を見ることができなかった。陽子崩壊の実験の意義が議論され始めたころ、当時ミュオン部にいた須田さんに協力してKamiokandeに関わることにした。陽子崩壊には「END計画」（フランスのFrejusに似た計画）の提案もあった。結局、周知のように水チェレンコフ光を利用するKamiokandeが宇宙線研の柱の研究となった。

80年代なかば「New Physicsの匂い」がCyg X 3か

らの超高エネルギーガンマ線をめぐって議論されたことがある。今はAuger計画の責任者であるJim Cronin教授が超高エネルギーガンマ線検出用の空気シャワーアレイCASAを立案・建設した。しかし、ガンマ線信号を検出できなかった。ノーベル賞受賞者のもくろみも思いどおりには行かなかった。彼が“I was totally wrong in choosing the parameters of CASA array, altitude and everything!”と私につぶやいたことがある。われわれが“too stupid”であったとは思わないし、また努力が足りなかつたとも考えたくない。しかし、かつてCASA計画について「アレイの経験者としての助言」を求められたとき、雷対策など今から思うと些細な点についての指摘しかなかった。このころ「空気シャワーアレイによる観測のもどかしさ・見通しの不安」を感じていたのだけれどもうまく表現できなかった。明野ではいかんともできない事情があり、米国のfunding agencyへ頼まれて書いた手紙の内容「CASAがこれまでの諸問題を解決・払拭し路を切り拓いてくれるだろう」と期待したのが正直な気持ちだった。

計画の選択はどの程度必然性に支配されつつ偶然にふりまわされ、どの程度が人の意志に委ねられるのだろうか。異なる方向に踏みだされた二つの道は決して出会うことなくどこまでも離れていくことになるのだろうか？このような設問は空理空論をもて遊ぶことかも知れない。もしそうだとすると、みずから問いかけるべきだと思う：われわれの「計画立案・遂行の仕組み」は、「最大の成果」を得る方向が選択できるように作られているだろうか、われわれは精いっぱい努力しているだろうか。

単純さ明解さについて

単純な設問ほど基本的、根底的な科学的意義をもつ」という「テーゼ」がある。半世紀前には、新粒子の発見の時代では宇宙線研究が欠くことができない役割を果たすことができた。「発見」の“yes or no”的な実験の比較的単純な性格がそれを可能にした。「発見の時代」が終ったことはクォークの検出の失敗すなわち単独ではとりだせない「奇妙な性質」の発見で象徴されているのだと考える（チャーム粒子発見の可能性を残していたが）。加速器のような制御された実験が必要となり宇宙線研究は素粒子研究の主役から遠ざかることになった。しかし、あまり時を経ずして大統一理論を検証する陽子崩壊の実験が提起されたのは宇宙線研究にとって幸運だった。宇宙線が観測対象ではなく逆に雑音として関係するにせよ、発見と同様に明解で発見に代わるべき研究課題が与えられた。

一方、1980年代、鎌田所長のころから所の主要な研究目的を「相互作用から宇宙物理に」転換することを公言するようになった。しかし、荷電粒子である宇宙線は方向性の記憶を失っている。起源を推測しようとしても一義的な答を得ることができず単純明解な研究課題を見出すのは困難である。電荷を帯びない「単純な」宇宙線成分が望ましい。陽子崩壊実験に加えKamiokandeによって超新星1987Aからのニュートリノバーストが検出された。コンパクト星形成に際してのエネルギー勘定を明解に確認することができた。Kamiokandeによって二重の意味で「単純・明解な」研究課題が宇宙線研究所の中心プロジェクトとして与えられたわけである。

超高エネルギー領域のガンマ線の観測の窓が開いたのは1950年代からの長い努力がやっと実ったという意味では必然的な結果である。但し、わが国、宇宙線研究所による参画にはやはりSN 1987Aの手助けという偶然も働いた。しかし、弱い相互作用のみに関与するニュートリノに比べて、ガンマ線検出の意味するところはもっと複雑である。より天文学に傾斜した性格を持ち研究対象となる天体が豊富である。このことは、天文学の一分野で独自性を保持しながら発展する道を磨きあげること“identity”を確かめることの重要性を要請している。これまでは超高エネルギーガンマ線を放射する源の発見そのものに意義があり、発見時代がもつ単純明解さの恩恵にあずかってきた。今後は複雑な現象の試練に耐えて実験精度をあげるか、単なる発見の次の段階の「単純・明解さ」を見出す必要がある。宇宙線の起源すなわち宇宙での非熱的現象・粒子加速現象に隠されている法則性、科学的意義を明解な形で示す必要がある。

“beakthrough”と宿題について

伝統的な宇宙線の研究課題の中には研究所の当面の「進化プログラム」の中心から外れて、放置されているものがある。たとえば、超高エネルギー宇宙線の化学組成である。重要ではあるが困難さを考えると宇宙線研究所の現在の制約のもとでは近寄らない方が賢明とみなされている。しかし、観測データ、たとえば、Fly’s Eyeなどの「シャワー電子数最大高度」のエネルギー依存性の解釈などをめぐっていつも顔を覗かせている。

Beakthroughを経験した研究課題、たとえばニュートリノやガンマ線は伝統的な宇宙線研究の中でいわば突然変異にたとえられよう。新しい種が新たな環境に進出するように、研究内容に質的な変化が起きるとそれを生み出した場の外に新たな研究領

域を開拓できることが理想的である。たとえば、X線天文学は宇宙線研究者によって開拓され発展・推進されたが、宇宙線分野の外に新天地を作り出した。しかし、昨今の厳しい状況では新しい研究領域の創生が既存の研究の一部の「切捨て」につながる可能性の方が高い。そのようなとき、宿題のまま残されていることをいつでもアクセスできる記憶領域にとどめておくことがわれわれの責務であろう。気候条件などが変わりそれまで優勢だった種の役目が終わって、新しい条件に適合した野生の種を必要とするときがきつとくるだろう。

当面の将来について

(宇宙線研究所を基盤とするわが国の)宇宙線研究の今後は当面の二本柱の将来計画である「最高エネルギー宇宙線」と「重力波」の今後の進展と成果に大きく依存している。従って書きたいことが山ほどあるが、その一部だけにふれておくにとどめる。

明野の多成分観測は加速器実験的な「完全実験」に似た試みではなかったかと、明野計画の成果も反省点もすべてあのころの時代の産物のせいにして説明できるのではないかという気がしている。首の長さがキリンを鼻の長さが象を特徴づけるように、個々の計画では単純明解に「ある一点」をそれぞれ特に発展させることによって総体としての宇宙線研究の豊富・多様な進化が可能になるのではないだろうか。最高エネルギー領域の宇宙線研究ではこの特に伸ばされるべき一点は有効検出面積である。その実現方法をめぐって地上・衛星からのシンチレーション光の検出やAugerのレイなどが並立・進行している。基本的意義の単純・明解さはGZKカットオフに求められている。その解釈が一義的でないための多様な面白さがあるが見方によっては複雑さでもあり多様な道を潜在的に内包している。超新星1987Aのように、偶然的要素が何らかの形でかんらんてくるであろう。これが「進化の方向」の決定にどう作用することになるのだろうか。ところで、いくつかの「異なる道筋に沿って進化したもの」間の相互作用が進化に豊かさを与える。最高エネルギー宇宙線と超高エネルギーガンマ線の「交配」が新しい将来計画のコンセプトを誕生させ、たとえば、超高エネルギーガンマ線の“all sky monitor”をもたらす可能性がある。

最近、重力波の研究会に出席した。重力波が広い意味での宇宙線であることをさらに突き詰めて、それが「宇宙線的」とみなせる根拠を具体的明解に示すとどうなるかが気になり始めている。Super/Hyper Novaの爆発が宇宙線、ガンマ線、ニュートリノ

そして重力波の源である可能性が最近盛んに議論されている。源を同じくするものどうしが地上の共通部分を持たない筈はない。それを明示的に納得したい。重力波実験と宇宙線の他の領域とが融合的に新しい計画を生み出すようなことが将来起こり得るだろうか？

4. おわりに

歴史小説が広い人気を保ち続ける理由は、「偶然性」や「登場人物の個性・意志」によって脚色・豊富化されながら「歴史の必然」が貫徹されるように



みえることである。表1に記したことがらは関連した人の顔を思い出すときその記憶が急に生き生きとよみがえってくる。宇宙線研究の進化・発展を制御する主要な要因は結局は人であるとしたら、楽しくもあり責任が重大である。

この文を書いているとき、小田稔先生の悲しい報せに接した。「宇宙線研究の特徴」が今後どう変化

するのでしょうかと尋ねてみたいけれどできないことになってしまった。空気シャワー部の大先輩に教えを乞い助けを求めることがもう不可能になった。宇宙線研究を支えてきたもろもろすべてが容赦ない「時の流れ」の中で確実に変化しつつあること、ひとつの時代が終ったことをあらためて痛感している。

研究紹介2

チベット空気シャワー観測装置の現状と最新の結果

東京大学宇宙線研究所 大西宗博

中国と共同でチベットの羊八井（ヤンパーチン、標高4,300m）に空気シャワー観測装置を建設し、観測を行っている。1999年11月に533台の0.5m²シンチレーション検出器を持つTibet IIIが部分的に完成し、観測を開始した。本報告では、この装置の現状と、最近活発になっている活動銀河核Mrk421の観測結果と、11年周期の太陽活動の極大を迎えている太陽による宇宙線の影の観測結果を報告する。

1. Tibet III 空気シャワー観測装置

Tibet III 観測装置の前身は1990年に観測を開始したTibet I とよばれる装置である。Tibet I は15m間隔の碁盤目状に配置された45台の0.5m² Fast timingシンチレーション検出器と、16台の0.25m² Densityシンチレーション検出器からなる、有効面積8,100m²の装置であり、10TeV領域の宇宙線を角度分解能0.9度で検出することが可能であった。その後順調に装置を拡大し、1995年には185台のFT検出器と36台の0.5m² Density検出器からなる有効面積36,900m²のTibet IIが完成した。1996年には観測エネルギー領域を10TeVから3TeVに下げのために、Tibet IIの一部に7.5m間隔で高密度にFT検出器を増設し、この部分をTibet HDとした。Tibet HDは有効面積5,200m²である。Tibet HDアレイは観測エネルギーが低いことが功を奏し、空気シャワー観測装置としては世界で初めてカニ星雲からのガンマ線を検出した。また、1997年に活発になった活動銀河核Mrk501からのガンマ線フレアも観測するなどの成果を上げた。

Tibet HDの成功をもとに1999年に7.5m間隔の高密度部分を22,000m²に拡大し、Tibet IIIとした。さらに2000年には数10TeV以上の領域でエネルギー決定精度を向上させるために、15m間隔の検出器に広

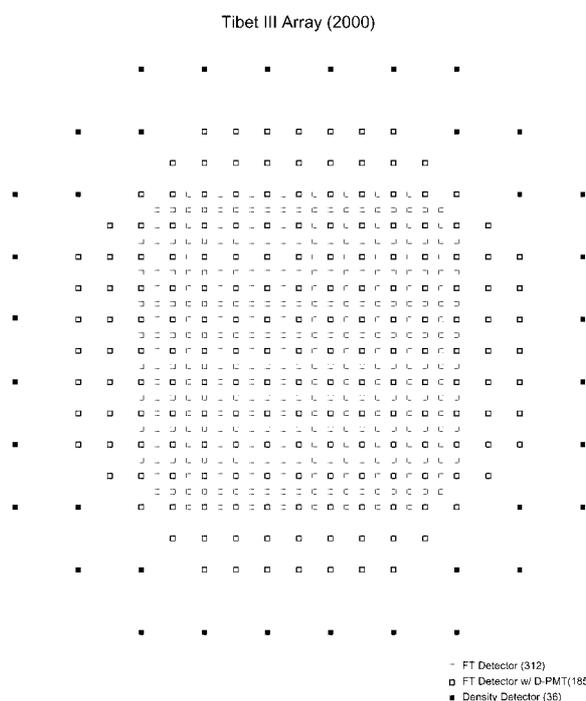


図1：現在のチベット空気シャワー観測装置。細線四角はFT検出器。太線四角はワイドレンジ光電子増倍管付のFT検出器。黒四角はDensity検出器。

いダイナミックレンジを持つ光電子増倍管を設置し、現在に至っている（図1）。2002年に7.5m間隔のFT検出器を180台増設する予定である。有効面積は36,900m²になり、Tibet III空気シャワー観測装置は完成する。

現在のTibet IIIは497台の0.5m² FT検出器と36台の0.5m² Density検出器からなる。それぞれの検出器の構造はTibet I当時から変更なく、逆ピラミッド型の高さ50cmの箱の上部に71cm×71cm×3cmのシンチレーターを配置し、下部には時間分解能の良い光電子増倍管を設置している。箱の上には空気シャワー中の高エネルギー光子を電子陽電子対に変換するこ

とにより、粒子数を稼ぎ、時間測定精度を上げるために5mm厚の鉛が載せてある。空気シャワー粒子はシンチレータを光らせ、その光は光電子増倍管で電気信号に変換される。この信号は150mのケーブルを通して、中央コントロール室に送られる。ここで、トリガの生成、ADCによるそれぞれの検出器の電荷量の測定、TDCによる検出器間の粒子の到着時間差の測定が行われる。現在トリガは中央部の433台のFT検出器のうち任意の4台以上が0.8粒子相当以上の信号を検出した際に生成している。電荷量の測定により、検出器に入射した粒子数を求め、それをもとに一次宇宙線のエネルギーを推定する。FT検出器では15粒子相当まで、Density検出器と、FT検出器のワイドレンジ光電子増倍管では4,000粒子相当まで測定できる。また、各検出器の時間差から一次宇宙線の到来方向を決定する。これらADC、TDCはFASTBUSに接続されており、データはそこからVME BUSを経由して計算機に取り込まれ、50GB容量のAIT 2テープに記録される。現在のトリガ頻度は680event/s、死時間は約10%で稼働している。1日のデータ量は約20GBにもなり、1本のテープに約3日分のデータが記録される。データテープは現地でコピーし、オリジナルは現地で保管され、コピーが郵便で宇宙線研究所に送られてくる。届いたテープは直ちに宇宙線研究所計算機システムの100TBテープライブラリに移して保管され、解析される。この際データの利用者はテープを意識せずにあたかも巨大なディスク上にデータが存在するように扱うためのソフトウェアが導入されている。

ところで、月の方向の宇宙線の頻度を調べると、月によって遮蔽された銀河宇宙線による頻度の低い部分が観測される。月の影の大きさは装置の角度分解能が良いほど小さく深く観測される。また、宇宙線の大部分は陽子などの正の荷電粒子なので、地球磁場によって曲げられ、10TeV以下の宇宙線による月の影の中心は実際の月の位置より少し西にずれて観測され、そのずれの大きさは観測している宇宙線のエネルギーに逆比例する。これらのことから、月の影は装置の性能評価に利用できる。Tibet IIIの観測エネルギーはモード値で3TeV、角度分解能は1度であるが、これらは月の影の観測で確認された。

2. 活動銀河核Mrk421

Mrk421は赤方変位 $z = 0.031$ という、我々に非常に近い位置に存在する活動銀河核である。時々X線からTeVガンマ線までの広いエネルギー領域でフレアを起こすことで知られている。2000年1月から6

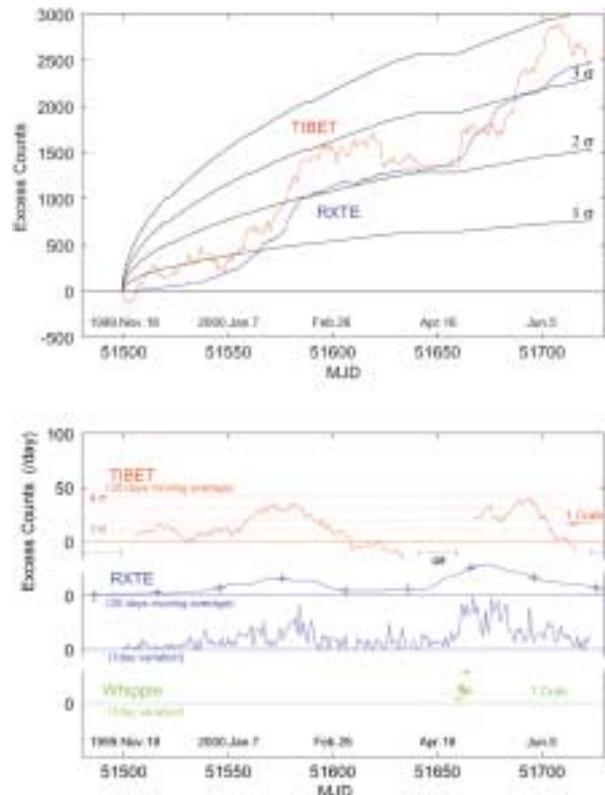


図2：Tibet IIIで観測された活動銀河核Mrk 421の2000年のフレア。

月にかけて、Rossi X ray Timing Explorer (RXTE) でX線領域のフレアが観測された。1999年11月17日から2000年6月28日までのTibet IIIによる1.5TeVから4TeV領域のMrk421の観測結果をRXTEの観測結果とあわせて図2に示す。上の図は1999年11月17日からの累積イベント数を表し、赤線が我々のTibet IIIの結果、青線はRXTEの観測結果（縦軸は任意）である。下の図はTibet IIIの観測結果を30日間の移動平均で、RXTEの結果を30日間の移動平均と1日の値で、Whippleのチェレンコフ光による観測結果を1日の値で、それぞれ1日毎にプロットした図である。残念ながら、4月6日から4月25日の間、Tibet IIIは装置の不具合により観測が中断されている。我々の観測でもっともイベント数の増加が見られたのは5月30日を中心とした30日間である。これはカニ星雲からの定常的ガンマ線強度の2.5倍に相当し、その有意性は4に達している。また、この図から分かるように強度の時間変化は我々の観測結果とRXTEの結果で良い相関が見られる。

3. 太陽の影

よく知られているように太陽はほぼ11年周期でその活動を変化させている。前回の極大は1991年で、1997年に極小になっていて、今回の極大はおそらく

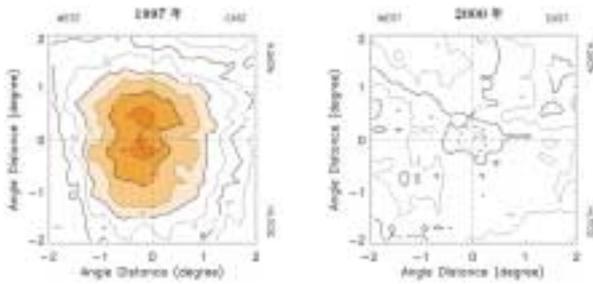


図3：Tibet HDとTibet IIIで観測された1997年と2000年の太陽の影。

2000年であったと考えられている。極大期に激しく変動する太陽磁場は太陽方向から来る銀河宇宙線に大きな影響をおよぼす。図3に我々の装置で観測された1.5 TeVから4 TeV領域の太陽方向のイベント数の1997年と2000年の2次元マップを示す。観測期間は1997年、2000年がそれぞれ1997年7月15日から1997年9月23日、1999年11月17日から2000年6月28日である。太陽近傍のイベント数は1997年、2000年でそれぞれ 2×10^6 、 4×10^6 イベントである。図3では色の濃いところがイベント数の少ないところで、実線は有意性を1%の単位で表している。極小期1997年は太陽の影がはっきり確認でき、その深さは6

に達している。また、影が南北方向に伸びているのは、太陽地球間磁場の地球公転面での向きがaway、towardと変化することにより、その螺旋状磁場の東西成分によって宇宙線がそれぞれ北と南に曲げられるためである。一方、極大期と思われる2000年には、観測データ量は1997年の倍あるにも関わらず、太陽の影はきれいに消えてしまっている。どのような磁場構造によって影が消えてしまったのか現在考察中であるが、非常に興味深い結果である。極大から極小に向かう今年、来年の観測結果が期待される。



自己紹介



瀧田正人

平成13年2月1日にエマルション部に着任した瀧田です。田無時代の宇宙線研究所で、神岡実験での大気ニュートリノ問題をテーマとした博士論文を完成後、大阪大学理学部を移り、このたび再び宇宙線

研究所に戻って参りました。

これまでは、神岡実験とスーパー神岡実験で主として大気ニュートリノやニューオンの解析に携わってきましたが、このたび心機一転し、チベット実験での高エネルギーガンマ線天文学にチャレンジすることになりました。最初は勝手がわからず、皆様にご迷惑をお掛けすることもあるかと思いますが、よろしく願い致します。

趣味は？と言われると困ってしまうのですが、若い人が好きそうなことは大概好きです。

ICRR Seminar 2000年度

2月27日(火) Paolo Lipari氏 (Rome Univ./宇宙線研)

“ Interpretation of the atmospheric neutrino data
What role has the prediction of the neutrino fluxes? ”

3月2日(金) 藤井優成氏 (東京大)

“ Affleck Dine Baryo (Lepto)genesis ”

3月9日(金) 鈴木英之氏 (東京理科大)

“ 重力崩壊型超新星爆発について ”

3月13日(火) 北野龍一郎氏 (総研大)

“ P and T odd asymmetry in lepton flavor violating
tau decays ”

3月15日(木) 荒船次郎氏 (宇宙線研)

“ 宇宙線研21年を振り返って ”

木舟 正氏 (宇宙線研)

“ 宇宙線研25年：宇宙線進化論 ”

ICRR Report 2000年度

(16) ICRR Report 472 2001 2 (December 20,
2000)

“ Doctor Thesis : Anderson Transition in One Dimen-
sional Random Mass Fermion Model ”

Koujin Takeda

人事異動

(平成13年3月31日現在)

発令日	氏名	異動内容	現(旧)官職
平成13.3.31	荒船次郎	定年	教授(理論)
平成13.3.31	石川文雄	定年	助手(空気シャワー部)
平成13.3.31	松山宏行	定年	施設掛長
平成13.3.31	斉藤勇次	定年	技官(乗鞍観測所)
平成13.3.31	塩見昌司	任期満了	COE研究員(エマルション部)
平成13.3.31	佐藤修一	任期満了	COE研究員(ニュー・ミュー部)
平成13.3.31	佐藤健	任期満了	COE研究員(理論)

No.44

2001年2月28日

東京大学宇宙線研究所

〒277-8582 千葉県柏市柏の葉5-1-5
TEL (0471) 36-3143又は5104
編集委員 佐々木 梶田