

回顧 我國戦後の素粒子・宇宙線研究

福來正孝 編

東京大學宇宙線研究所

2012年1月

本冊子は敗戦後の荒廃の中より急速に立上がり展開され、世界的な見地よりしても大きい寄与のあつた我国の素粒子論と宇宙線の研究を擔はれた先達の思ひ出話を纂めたものであり、本冊子の第一の目的は日本の素粒子、宇宙線の初期の研究がどの様なものであつたかに就いての歴史資料を將來に向けて残すことである。

本冊子の契機となつたのは山口嘉夫先生の昔話の聞き書きである。山口先生の傘寿の会（2006年）で、もう餘り機會もないだらうから「素粒子研究の若き時代」のお話を伺つておかふと云つて始めたものであり、十数名の人（主に東大素粒子研出身者）が2006年秋から2007年夏に掛けて三回都合十數時間に互り話を伺つた。その時の速記を筋道が立つ様に並べ直し叙述體に直し編集したものを先生に修正して頂き不審な点、關聯文獻に関しては編者他が探索確認作業を行ひ數回に互り先生との間の往來を繰返して本書収録の山口先生原稿が出来てゐる。

これに觸發されて他の方々の思ひ出話も、作つておかふと云ふ事になつて宮澤弘成先生の聞き書きを作つた。西島和彦先生も大變乘氣になられて御自身の日記、手帳杯を調べられてゐたのだが御病状が悪化して間もなく亡くなられ間に合はなかつたのは遺憾とするところである。

山口先生の稿を一番最初に置いてあるが、それは先生の話が本冊子成立の契機を與へてゐると云ふ事の他に、其の稿が可也広範囲に及んでゐて分野全体の歴史的俯瞰に都合が良いと思はれる故である。

其内に日本の宇宙線研究の初期の話も今の内に纏めておいて欲しいと云はれ宇宙線研究所の初期の時代、即ち核研宇宙線部初期の先生方である西村純、田中靖郎、小柴昌俊先生にも話を伺ひ聞き書きを作つた。宇宙線研究は初期には素粒子研究の重要部分であつた訳だが、臆て新分野の開拓者としての役割を擔ふことになる。中性微子物理然り、X線天文學然りであり此等では日本の研究が世界的にも重要な位置を占めてゐる。小柴先生の話も聞き書きを整理、不審点を糺した上で草稿を作製し先生に修正して頂いた。田中、西村両先生の稿は聞き書き作成の後、編者の要求に應へて先生方御自身が後刻大幅に補足拡充された。

北垣敏男先生話の収録は、先生が果された日本の高エネルギー實驗創成での役割は大きく山口稿に頻出してゐるのであるが、山口先生とは異なる立場からの記録を残しておきたかつた故である。聞き書き作成後、此稿も先生の大きい修正加筆

を経てゐる。

加へて本冊子には Kamiokande/SuperKamionande 実験開始前後の事蹟を述べた荒船次郎、中畑雅行、梶田隆章各氏の話も収めてある。蓋し日本の「宇宙線」研究者の科学的成果が一つの頂點に達した時期である故である。

小林誠氏の聞き書きでは 1970 年頃、即ち現在の素粒子論が完成する直前の素粒子論研究がどんなものであつたかに就いて述べられてをり、上の記録で抜け落ちてゐる部分が補はれてゐる。

聞き書きはもう少し廣い範圍に擴げたかつたのだが、ここで収録した方々が聊か地方的に偏つてゐるのは日常的な理由、即ち日頃の付合があつた事が大きな理由である。残念乍ら數名の方を逸した。斯様な聞き書きは主觀的要素が大きいのは本來的なものであり、其事は問題と云ふよりは、寧ろ重要な要素の一であると思はれる。出來得べくは一つの事跡に対して何人かに依る見方があればそれが望ましい。實際、本記録では同一の事跡が何人かの人に依つて語られてゐる場面が多々見出される。亦通常の記録には餘り書残されないやうな事項の記述も収録してある (尤も編者が唆した部分も可成あるのだが...)。編集に際して、也可く關聯 document を調べ、話相互の cross check を行ひ 出来る限り正確を期すべく努めた。内容的に少々余計かと疑はれる事も時代の雰囲気や傳へて呉る故也可く削除せずに残した。有る程度口吻も保存したかつたのだが、此は餘り成功してゐない。

本冊子の収録に於て脚註になつてゐるものは主に編者による書加へであるが、原著者或いは原稿を編集段階で読んで頂いた方に依るものもあり明示してをいた。聞き書きに現はれる該當文獻、原論文等はなるべく挙げておいた。また文獻の後の bracket〈...〉内に示したものは論文受附の日附を示してゐる。尚末尾に此聞き書きに現はれる物理の背景への手掛りと本冊子に現れる事蹟の全体的な發展の中に於ける位置付けを與へる爲に、基礎物理の發展狀況に關して通り一片のものではあるが概略を「後序」として加へてある。

本冊子の成立に關しては「思ひ出」を書かれてゐる方々は勿論、他にも數多の同僚を煩はしてゐる。其等は、各々の稿の成立の経緯と共に夫々の第一頁の脚註として簡略に記してあるが、各々の方々に感謝申し上る。

2012 年 1 月

編者 福來正孝

東京大學宇宙線研究所

目次

1.	山口嘉夫	素粒子物理研究思ひ出話 – 戦中より高エネルギー研究所創設の頃	1
2.	宮澤弘成	素粒子論研究の思ひ出話	117
3.	小林 誠	1970 年前後の素粒子論	127
4.	北垣敏男	日本の高エネルギー物理の誕生	131
5.	西村 純	戦後宇宙線研究の思ひ出話	149
6.	田中靖郎	宇宙線から X 線天文学へ	281
7.	小柴昌俊	若き日の研究を振り返って: Kamiokande を始める迄	315
8.	荒船次郎	宇宙線研究所と Kamiokande	325
9.	中畑雅行	Kamiokande の頃 (1)	339
10.	梶田隆章	Kamiokande の頃 (2)	347
11.	(編者)	後序 本収録の思ひ出話に現れる物理の背景	357

若き日の研究を振り返って： Kamiokandeを始める迄¹

小柴昌俊

一高東大かつて言はれたがもう少し逆上って話を初めると²、高等學校一年の八月に敗戦となった。親父は中國で捕虜となって収入が跡絶へた。親父は元々陸軍の職業軍人（陸軍大佐）だ。それで一家五人の飯代を稼がにゃならんと云う事になってアルバイトに精を出したのだ。

一高の理甲は190人位居た。入学した時は成績は良かったのだがアルバイト許り遣ってゐたので、そのうちに真中位迄落ちて了った。一高の校長は天野貞佑先生で親しい同業者（朝永三十郎）の息子さんだと云ふ朝永振一郎先生を紹介して呉れた。これがきっかけとなって朝永先生には大變お世話になり終生親しくお付合頂いた。

學生の半分は落第だ。物理と云ふのは難しくて成績が上から一割位でなけりゃ物理に行くのは無理だと言はれてゐた。私はその頃はドイツリートだとかドイツ文学に引かれてゐて獨逸語に凝ってゐたので獨逸文學なんかを將來に考へてゐた。卒業前の十二月に窓が破れて風の吹込んでゐる様な風呂に入つてゐたら湯氣の中から物理の金原先生と元々一級上だが同級に落ちて來てゐた學生の聲が聞こへてきた。「小柴は學校にも出て來ないが何處受ける氣だい」、「ドイツ文學かインド哲學でせう。間違つても物理には行かんでせう」と云つてゐたのだ。此頃はインド哲學杯は定員より應募者の方が少なくて無試験入學だった。私はこれを聞いて「カッ」となったのだ。入試迄一月位しかなかったが、寮の同室に朽津耕三と云うよく出来る學生がゐた（彼は後に東大の化學の教授になった）ので受験勉強を彼に家庭教師して貰つたのだ。お蔭で試験に受つて物理學科に入った（1948年4月）。

¹聞き書き：福來正孝、中畑雅行、2011年5月16日於平成基礎科學財團。小柴先生は「心覚へ」を御自分用のノート（2009年11月21日作成）として書かれてをりそれより年月次及び若干を追加した。尚最後には小柴先生に校正して頂いた。亦山田作衛氏にも目を通して頂いたが、其修正は脚註に記した。小柴先生の初期よりの重要な弟子の内存命されてゐるのは山田氏だけで須田英博（1993）、折戸周治（2000）、戸塚洋二（2008）と既に鬼籍に入られて了つてゐるのは残念である。

²1926年9月19日豊橋生。1945年4月一高理甲入学

私はいろんなところで運に恵まれてゐるのだがこれがその最初だ。

一年後に親父は復員してきたが元來職業軍人(当時は戸山学校剣道教官)で「公職追放」だから相変わらず収入はなく私は物理は勉強しないでアルバイト許り一所懸命やってみた。いろんな事を遣った。進駐軍の荷上げ人足と云う様なものもやった。

その内大學の三年になったがこの頃は大學院の入試と云ふものは無かった。擔當の教官が宜しと云へばそれで入れた。一高の先輩の山内恭彦先生にお願いしてみた。山内先生の他には落合麒一郎、小穴純(先生にはアルバイトの事などでお世話になった)、嵯峨根遼吉、桑原(光學)、坂井卓三、小谷正雄先生等が居られた。山内先生は物理數學の先生だが親分肌の人で私の願ひを承諾して呉れた(1951年4月入学)。然し大學院には入ったが物理の何かテーマがあると云う訳ではなかった。

山内先生に「お前學資はどうするか、スカラシップがあるが」と聞かれたので是非とお願いした。次の週に先生に會ふと「お前のお陰で恥をかいたぞ」と云はれた。成績の悪い小柴に奨學金をやるなんてと云う事であつたらしい。其内に湯川奨學金と云ふのがあること事を知った。これは讀賣新聞の正力松太郎氏が資金を出して湯川先生が始めたもので月400円を一年間4800円程呉れた。この頃はこれ丈あれば何とか暮せたのだ。この奨學金を受ける條件は英文で論文を書き掲載が受理されてゐる事。そこで先輩の藤本陽一、福田博に相談した。此二人はどちらも東大の秀才だ。

早川さんは宇宙線中の μ 粒子が地下でどうなるか考へてみて μ -核の断面積を必要としてゐた。福田博にはFeynman diagramの計算を教へて貰つたので、それで μ -核の相互作用をFeynman diagramで計算した。一週間程掛けて計算して持つて行くと福田博に「違つてゐる」と云はれ、この様な事を繰返したが、結局この仕事は福田、藤本、小柴で出てゐる(Nuclear interaction of μ meson)。お蔭で湯川奨學金は貰へたのだが、大半飲んじやつたのじゃないかな。

此頃助手になつてゐた藤本にCecil Powellが開發した原子核乾板が日本でも使へる様になつたので實驗を遣らんかと誘はれた。山内さんに相談すると應援して呉れて5万円を都合して呉れた。此金はブラジルの日本人會が物理學會に寄贈したものゝ一部だ。それで物理教室に暗室を作ってIlfordの乳劑を乾板に塗布して富士山頂で一ヶ月間露出した。IlfordとのコネクションはBristolに行つた早川さんとその弟子の藤本さんを経由するものでnuclear emulsionは乳劑の形で入つて來

てみた。富士山で露出した乾板を現像、定着、乾燥させて顕微鏡を覗いて stopped $\pi - \mu$ -stopped - e の軌跡の長さを測って質量を導いた。これで俺でも何かやれさうだと云ふ感触を得た。このような感触と云うのは何か新しい仕事をする上で非常に大事な事だと思ふ。

この頃武者修業と云ふのが流行ってて私も一月程大阪市大に行った。市大には南部、早川、山口、西島、中野とみて先に宮澤さんが矢張武者修業に云ってみたのだが M1 の学生ぐらいでは彼等の議論を聞いても分からなかった。

もう少し nuclear emulsion を遣らうと思って藤本と相談したら、彼は本場に行かなきゃ東京等でやってても井の中の蛙で駄目だと云う。藤本は既に Ph.D を持ち助手になってみたからいいが、此方は M1、M2 と云ったところでさう簡単には行かない。ところが此頃に湯川さん経由で Marshak が Rochester で日本人学生を受入れてもよいと云ふ話があった。経緯は New York で APS の年會があり湯川さん（此頃 Columbia 大に居た）と Marshak が一緒に昼飯を食った時、Marshak が云ふには「Rochester は一流と認められていないので優秀な学生が仲々来ない。それで印度から何人か学生を取ってゐるのだが、推選して呉れるなら日本人から三人程学生を受入れたい」との事であった由。

Rochester は他の分野はいざ知らず nuclear emulsion に関しては Kaplon と名は忘れたがもう少し年上の優秀な人が居り Bristol に次いで世界で第二の場所と云つてもよかった。それで行き度いと思ふたが日本から三人と云ふ事で難しいと思つたので朝永先生に推薦状をお願いした。すると先生は英語の推薦状を自分で書いて来いと云はれたので「此男は出来は良くないがそれ程馬鹿じゃない」などと書いて朝永先生のところに持って行ったのを覚えてゐる。

兎角それで東大大學院を中退して Rochester に行ったのだ（1953年8月）。月\$120 呉れると云ふ事だったが一割は税金に取られ\$108、そして室代が\$35で後はバス代と飯代で消へて仕舞った。その内\$10の中古車を買って乗ってみた。これは後で\$25で賣った。PhDを取れば月\$400 貰へるとの事で、何とか早く PhDを取らうとして結局1年8ヶ月で PhDを取った（1951年6月）。博士論文は「宇宙線中の高エネルギー電磁相互作用現象」³。

幸い此論文が Marcel Schein の目に留り彼が Chicago に来ないかと声を掛けて

³M. Koshihara and M.F. Kaplon, High Energy Electromagnetic Phenomena in Cosmic Radiation, Phys. Rev. **100**, 327 (1955)

呉れたので research associate として Chicago に行った (1955 年 7 月)。Schein のところで遣った仕事は北緯 41° に於ける宇宙線の元素分析。宇宙線の元素存在量が Cosmic abundance と違うところを二か所—CNO はその順番が違う、と Fe が多いと云う事—見付けて宇宙線は超新星起源ではないかとコメントして置いた⁴。此頃には早川さんは宇宙線超新星起源の様だと考へてゐて彼の論文は出てゐたのだが、彼の目に留り「超新星起源説の支持は小柴が示してゐる」と書いて呉れた。

此頃にはだんだん加速器実験が盛んになる時代で加速器の実験に誘はれた事もあるが私は餘り興味はなかつた。加速器はエネルギーが低くて魅力がなかつたのだ。

此後核研に行く事になるのだが早川さんが支持して呉れたのではないかな。兎角この間核研から助手に来ないかと云はれ「今更助手では」と云ったら助教授で採用して呉れた (1958 年 5 月)。核研の宇宙線部門 (B 部) で助教授に西村純さんが居た。核研では持って帰った stack (Prince Albert Stack) の一次宇宙線の元素分析を遣つてゐたのだが、一年程して Schein から国際協力研究 (International Cooperative Emulsion Flight: ICEF) を遣るので亦來んかと誘はれた。働いて呉れるなら日本は分擔金は出さなくともよいと云う事だった。

核研での最高決定機關である運営委員の皆川理さん (神戸大)、中川重雄さん (立教大) も行って來いと賛成して呉れた。ところが Chicago へ行って (1959 年 11 月) 半年経つ前に突然 Schein が死んで仕舞つた。Beppo Occhialini を呼んで前後策が検討されたがその結果 Occhialini の推薦で小柴がプロジェクトの責任者 (Acting Director) になる事になった。プロジェクトと云ふのは 45cm×60cm×500 枚 (30 糶厚) の pericle のブロックを氣球で上げようとするものだ。南 California の Brawley の空港から上げて (1961 年 11 月) 36 時間程後にアメリカ大陸を横斷して South Carolina で回収する。30km 位迄上げたと思ふ。主要目的は high energy interaction の secondary 迄見ようとしたのだ。この頃 Louisiana State と Texas State から offer があつたのだが Louisiana は鰐、Texas では蠍が出ると云うので辞退した。

三年近く居て 1962 年 9 月、日本に帰つたが帰る時に pericle の stack を 1/5 呉れた。此 stack を核研に持って帰つたのだが宇宙線のボス連中がこの stack をバラバラにして持帰ろうとする。私は stack が大きい事に意味があるのでバラす事に大反対した。核研で一纏にしておいて集つて解析したらよいのではと言つたのだが入

⁴M. Koshihara, G. Schultz and M. Schein, The Charge Spectrum of the Cosmic Radiation at 41°N, Il Nuovo Cimento X9, 1 (1958)

れられず皆川理さん等のボス連と大喧嘩になった。特に運営委のメンバー達と喧嘩になったのだ。湯川記念館の地下に Brawley stack の解析センターを開くと云ふ話もあったのだが京大の若手研究者達の反対で挫折してしまった。核研の職は任期もあり身分が保証されてゐる譯ではない。亦アメリカに帰るかと思案してゐたのだが、此時物理教室で一人助教授を採ると云う話があった。私の論文は4つか5つ位だし余り先生方の覚へもよいと思はれないから難しいと思つたが、兎角自薦で出してみたところ運良く小谷さんが採つて呉れた (1963年11月)。

私は小谷さんの覚が目出度かつたとは思つてゐない。小谷さんは廊下で会つても口もきいて呉れなかつた。朝永先生の小谷先生への口添へかあつたのかも知れない。私の最終講義の時 (1987年2月) 小谷さんが私の妻に「小柴さんともう少し親しく、お付合しておけばよかつた」と云つたらしいので矢張小谷さんの覚へは良くなかつた様だ。

かうして1963年11月物理教室に移つて1964年1月より助手に須田英博 (神戸大卒) に來て貰つた。須田はその頃理化學研究所に居たのだが上の人と折合ひが良くなくて困つて居た。理研の鎌田甲一さん (一高の先輩) に須田の事で声を掛けられ採つたのだ。但しこの時須田は未だ博士號を持つてゐなかつた。東大の助手は皆博士號を持つてゐたから例外を認めて呉れと言つて採つたのだ。

私のところの初めての學生が山田作衛、折戸周治 (1964年)。一年後に戸塚洋二が入る⁵。折戸は counter 實驗をやりたくて臆つて藤井忠男さんのところに移り學位論文は藤井さんのところを出した。折戸はその後 CERN の Rubbia のところに行きそして Frascati に行った。折戸が私の研究室に戻つて來るのは JADE を遣つた時⁶。この頃物理教室で遣つたのは大学院入試の面接点を独立させる事と夏休に希望實驗を始る事を提案したことだ。

Chicago から持つて歸つた pericle の解析を遣つたのは山田と戸塚。山田の博士論文と戸塚の修士論文になつてゐるが正式の論文としては出版されてゐない⁷。山口さんに emulsion なんか今頃遣つても仕方がないと言はれたのだ。

⁵山田、折戸、戸塚は同學年であるが (折戸は學部は早稲田大學) 戸塚は學部3年を2年遣り、山田、折戸より一學年遅れる (山田註)。

⁶DASP の途中 (1975年4月頃) であらう (山田註)

⁷此れは山田の修士、博士論文、戸塚の修士論文、野崎忠男の修士、博士論文となつた。山田の修士論文の為の解析は S. Yamada & M. Koshihara, Systematic investigation of ultra-high energy interaction I, Phys. Rev **157**, 1279 (1967) として出版されてゐる。野崎の修士論文の内容も出版されてゐる筈だが未同定 (山田註)。尚初期には折戸も解析に加わつてゐた。

此頃 emulsion に見切を付けて私も counter を遣り始めた。streamer chamber を作って理学部四號館の圖書室の横に立て、streamer chamber を上に置いて後藤英一さんと一緒に quark と magnetic monopole の探索を遣ったのだ。此を一所懸命遣ったのは須田⁸。

戸塚には地下の観測を遣らせた。核子の励起状態の二次粒子として μ 粒子が澤山作られるかも知れないと考へたのだ。私はこの excited state を密に “aleph” と呼んでゐた。三宅三郎さんにこの事を言うと μ 粒子の軌跡はせいぜい 2 本だと言ふ。然しこれは三宅さんの検出器が小さいせいではないのかと考へて、3m×3m の検出器を神岡の枋洞坑を下りたところ (500m 深) に置いて一年観測したら 18 本の μ 束を示すイベントが見付かった。これが神岡での地下実験の始まりだ (1968 年 8 月)。須田、戸塚、小柴で論文にしたが戸塚の學位論文になってゐる⁹。

Novosibirsk の話が始まったのは 68 年頃。1968 年に Moscow での國際會議に出掛けて高エネルギー相互作用の總合報告を遣った。その時會議を聴いてゐた女性物理屋を介して Budker に紹介され、ホテルの食事に招待されそこで Budker が共同研究の可能性を云い出したのだ (68 年 3 月)。彼は 3GeV×3GeV の e^+e^- 衝突を遣らうとしてゐた。私は pp 衝突は複雑過ぎて何か起こつてゐるのかよく分からないので Budker の様に簡単な e^+e^- 衝突をやりたかったのだ。

68 年の 5 月には後藤、小林喜幸氏と Novosibirsk に出掛けた。帰国後茅誠司、植村甲午郎氏と会談 (8 月) があつて日本の産業としては原材料を必要としないコンピュータ特にソフトウェアが良いだらうと進言。この時三井金属社長を紹介された。これが 1969 年より神岡鉱山で実験を始る切掛けとなる。さつき話した μ 束の実験だ。

東大に戻つて e^+e^- 衝突の事を話したら山口と宮澤に反對された。要するに e^+e^- は QED で分り切つてゐるから遣つても仕方がないと云ふのだ。西島丈はこんな高いエネルギーの衝突では何か起こるか分からないから遣つてみる価値があると支持して呉れた。

ソヴィエトアカデミーでも承認を得て (1970 年 4 月) Novosibirsk で共同研究をやる準備を進めてゐたのだが、その内 Budker が心臓麻痺になつて仕舞いソヴィ

⁸Y. Fukushima, T. Kifube, T. Kondo, M. Koshihara, Y. Naruse, T. Nishikawa, S. Orito, T. Suda, K. Tsunemoto, Y. Kimura, Search for Quarks, Phys. Rev. **178**, 2058 (1969)

⁹T. Suda, Y. Totsuka, M. Koshihara, Observation of Parallel Muons 1350 m.w.e. Underground, J. Phys. Soc. Japan **36**, 351 (1974)

エトの計画は頓挫して仕舞った¹⁰。此方の方も時間切れになるので西島と一緒に Moscow に行き共同研究打止めを通告した (72年8月)。

それでも私は e^+e^- 衝突を遣りたかったので CERN と DESY-DORIS を打診した。DESY は Wolfgang Paul が所長、Erich Lohrmann が Research Director を勤めてゐたが Lohrmann は DASP を準備中の Bjørn Wiik に紹介して呉れた。Wiik は私の共同研究提案を受入れて呉れたので此處に入った (DASP は 1973年4月発足, 1977年8月迄)。丁度 J/ψ の直前で J/ψ の発見後、 ψ' と ψ の中間状態を探索する実験が出来た (1975年9月)。

DASP で日本のグループを取仕切ったのは須田、山田、戸塚の三人^{11 12}。折戸は Aachen group からの参加で¹³spark chamber を遣つてゐた。折戸は後に JADE を遣る時東大助教授となって日本側の責任者となって小柴グループに復帰する。

DASP で挙げた成果はその後の JADE (Japan-Deutschland-England; 後にアメリカが入り A は America となる) 実験¹⁴の基礎を與える事になる。

DASP は double arm で立體角が小さいが、JADE は 4π detector なので飛躍的に event rate を上げる事が出来る。JADE の分擔金として5年分7億6千万を概算要求し、此は文部省で認可されたのだが總長特別補佐の久保さんに予算が大きいので山崎敏光に半分やれと言はれて大いに悩んだ (1977年2月)。此で胃潰瘍になって仕舞った。もう一つの問題は予算が大き過ぎて理學部經理に入れる事が出来ないと言はれた事だ。これは結局共同研究を理學部の枠外に置くと云ふ仕組を作つて解決した。これが「理學部附属素粒子物理學國際協力施設 (LICEPP)」である¹⁵。これは後の素粒子物理國際センター (ICEPP) の前身である。此共同研究では私は直接働いてゐた譯ではないから論文にも名前を入れる積りはなかったが、折戸が「金の他にも、鉛硝子検出器は先生のアイデアですから名を入れておいて下さい」と云ふので最初の幾かの論文は私の名も入つてゐる。

¹⁰Gersh I. Budker の死去は 1977年4月。

¹¹DASP は 1972-77年、JADE は 1977-83年で戸塚は 1972年12月より山田、須田は 1973年11月より DESY に行つてゐる。DORIS の first event は 1974年である。1976年よりは JADE の準備が始まつてゐる。

¹²代表的なものとして、JADE Collaboration, Observation of Planar Three Jet Events in e^+e^- Annihilation and Evidence for Gluon Bremsstrahlung, Phys. Lett. **91B**, 142 (1980)

¹³折戸は München (MPI) group からの参加で、其の途中東大の助教授になって DASP に途中から参加してゐる (山田註)。

¹⁴1976年3月 Frascati の PETRA Meeting で提案

¹⁵1977年4月発足。JADE は6年間で15億

1978年12月になってKEKの菅原寛孝より電話があり陽子崩壊の実験が考へられないかと云はれた。其で水と光電子増倍管(PMT)で検出器を作る事を考へた。こうすれば安上りに出来るからだ。須田がdetailを詰めて圖にした。3000トンの水に1000本のPMTを用ひるものだ。渡辺靖志が高エネルギー研のGUTのWorkshop(1979年2月)に持って行って話した¹⁶のだが渡辺の報告にはこの辺りの事情が正しく書かれてゐない。この計画は即認可され3億6千万の予算が付いた。

Fred Reinesと私は昔から考へ方が似たところがあるのだが、此頃Reinesも同じ様な事を考へてゐると云ふのが聞へて來た。彼のは7000トンの水に5000本のPMTを使ふと云ふものだ。PMTの面密度はどちらも一平米當り一ケと同じであり、これでは我々の実験に勝目がないのははっきりしてゐる。税金を使って始から勝目のない競争をやる譯にはいかない。それでどうするかと云う事で大分悩んだのだがPMTの直径を大きくして集光力を上げてみてはと考へた。その頃入手可能なPMTは5 inch径のものしか無かつた。これ20 inch径にしてはどうだろうと云ふのだ。但し値段は変へない。これを浜松テレビに作らせた。1979年4月に始めて1980年2月開発に成功した¹⁷。

PMTが完成したら浜松は一ケ30万円の値段を付けて來た。我々の方は当初の一本10万円で予算を組んであるから変へる譯には行かない。製造材料をよく調べたところ13万円くらいで出來てゐる筈なので一本13万幾らかで納入させた。浜松の晝間輝夫社長には「あんたに騙された」と云はれたが今に至る迄親しく付合つてゐる。実際には此の大型PMTの製作は我々実験グループと浜松テレビの共同開発なのだ。各カソードからの電子ビームを如何に効率良く受けるかというカソードの形状設計、その他beam testをKEKで我々が行ふ等我々のグループが相當寄與しているのだ。此PMTの開発プロジェクトには新しくKEKより我グループの助手となった鈴木厚人と修士に入った許りの學生、有坂勝史を貼り付かせた。鈴木はKEKでは餘りhappyでなかつた様だがこのプロジェクトを始めてから生き生きとしてゐた。Kamiokandeは1983年4月末運転開始。

戸塚は始めKamiokandeはやる氣がしないと云つてゐたのだ。彼はKEKで建設

¹⁶Y. Watanabe, Proceedings of the Workshop on the Unified Theory and the Baryon Number in the Universe, National Laboratory for High Energy Physics, 13-14 February 1979, ed. O. Sawada & A. Sugamoto, KEK report 79-18 (1979)

¹⁷鈴木厚人 試験研究 大口径高時間分解能、低雑音光電子増倍管の開発 (科研費成果報告書 1986)

中の TRISTAN の爲に water ball 検出器を作り度いと云って検討してゐて提案した (1981 年 11 月) のだが菅原さんに却下されて仕舞って腐つてゐた (1982 年 7 月)。それで神岡に参加したのだがその後はよくやって呉れた。それで私が 1987 年 3 月退官する時戸塚を Kamiokande の責任者にして東大をやめたのだ^{18 19}。

¹⁸ICOBAN84(Park City, Maryland) では Kamiokande での solar neutrino feasibility experiment with Kamiokande と Kamiokande detector を大きくする話を提案した (小柴先生は直前にインフルエンザに罹り Al Mann に頼んで発表して貰ったとの事である (「心覚え」)。前者が実現して報告が出されるのは K.S. Hirata et al (Kamiokande-II Collaboration) Observation of ⁸B Solar Neutrinos in the Kamiokande-II Detector, Phys. Rev. Lett. **63**, 16 (1989)

¹⁹Supernova neutrino の検出は此の一箇月前である。K.S. Hirata et al (Kamiokande-II Collaboration) Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987a, Phys. Rev. Lett. **58**, 1490 (1987)

宇宙線研究所と Kamiokande 計画¹

荒船次郎

僕が宇宙線研に行ったのは1979年4月だ。KEK(現在の高エネルギー加速器研究機構)に在職中に三宅所長に頼まれた西村純さんから、宇宙線研に行かないか、と言われた。アメリカの友人から別の誘いもあったが両親が老齢なので東京に居たいと思ったのと、KEKの任期もそろそろ近づいていたので、宇宙線研に行く事にした。僕は宇宙線研究は加速器では出来ない素粒子物理学の研究をする所と漠然と思っていたので(もっと後になって、高エネルギー宇宙物理の分野をもっとやってよい、と思うようになった)、三宅さんは素粒子をやっているといいと云って呉れたが、赴任にあたって自分として努力した目標は宇宙線研で陽子崩壊の実験をしてほしい、そのために尽力したい、という事だった。陽子崩壊の研究會等も何度か行なった。

当時、宇宙線研究所の研究は各1講座程度の4つの部で行われ、ミューニュー部は北村崇さんが主任で800トンの鉄芯電磁石装置(ミュートロン)を完成しミューオン観測を行っていた。空気シャワー部は鎌田甲一さんが主任で明野観測所に1km²の空気シャワー観測装置を完成し空気シャワー観測を始めようとしていた。エマルション部は湯田利典さんが主任で富士山頂に多層の鉛とX線フィルムからなる100m²のエマルションチェンバーを建設しようとしていた(私はエマルション部に属した)。一次宇宙線部は近藤一郎さんが主任として乗鞍観測所での諸実験や山越和雄さんらの鋸山(千葉県)の低バックグラウンド実験室での宇宙塵研究などを東ねていた。

そのほか、三宅三郎所長は大阪市立大学を率いてインドのカラー金鉱(KGF: Kolar Gold Field)で宇宙線研究を行っていた。この実験と、ボリビアのチャカルタヤ山(標高5300m)における東工大の菅浩一さんを中心とした空気シャワー実験、及び同山における早稲田大学の藤本陽一さんを中心としたエマルションチェンバー実験と合わせて、3つの実験は海外3件と呼ばれていて、宇宙線研究所が

¹この原稿の脚註は荒船氏によるものである。最終稿2012年1月15日。

継続的に予算を得て研究が行われていた。三宅さんらの KGF 実験は 1965 年に世界で初めて (Reines & Crouch より 2 週間早く) 大気ニュートリノを観測した実績を持っていた。このほか、須田博英さんは ^{115}In を用いた太陽ニュートリノ観測を検討していた。尾形健さんは米国の高橋義幸さんらと日米共同の JACEE 実験で気球搭載のエマルジョンチェンバーを用いた高エネルギー宇宙線の直接観測を行っていた。

このように、当時の宇宙線研究所は教職員は少人数で予算も小さかったが、唯一の宇宙線の共同利用研究機関であり、全国の多数の宇宙線研究者が頼りにして、多様な研究を支えることが期待されていた。

そのころの宇宙線研究所の大きな問題に任期制があった。東大原子核研究所、東大宇宙線研究所、KEK の隣接 3 分野の共同利用機関は共通の考え方として、(所長など研究に専念出来ない官職は例外として)、全教員の任期制を採用していた。宇宙線研究所は所長以外の全教員の任期は 7 年で、宇宙線研究所には原子核研究所の宇宙線部から改組に伴って引き続き宇宙線研究所へ移ったため、当初の任期を大幅に過ぎてしまった教員が多かった。そのことが教員に重くのしかかって精神的に負担を与え、研究に関することですら、所内の者が所外の共同利用研究者に対して自由で闊達な発言をすることを遠慮し窮屈な雰囲気を作っていた。特にその傾向は私の属したエマルジョン部に強く、少数だが声の大きな共同利用者が、自分に対立する所内の発言者には任期制を持ち出して牽制するという、およそ理性ある物理学者にありえない行動がまかり通っていた。日常的にこの問題が意識される雰囲気があり、私が赴任した時にエマルジョン部の委員会 (エマルジョン専門委員会と呼ばれた) で受けた最初の質問は「任期制をどう思うか?」というものであった。私は学習院時代、原子核研究所時代、KEK 時代を通じて運よく任期は守ったものの、当時の制度には疑問があったので、「それは難しい問題です」とだけ答えたことを覚えている。

重要な問題として、当時の宇宙線コミュニティーは面白い仕事もあるのだが研究成果に対する評価の仕方が学問的に適正とは云へなかった。かつての日本の宇宙線研究は、戦前の仁科芳雄さんらのミュー粒子の質量の決定、戦後は西村純さんの多重発生の横向き運動量一定の発見、三宅三郎さんの大気ニュートリノの初観測、福井崇時さん・宮本重徳さんのスパークチェンバーの発明、丹生潔さんのチャーム粒子の発見、など、歴史に残る成果を上げていたが、その後、それらの

分野は加速器実験に移って精密実験が行われ、宇宙線研究で出来ることは少なくなっていた。研究成果に対する評価方法が遅れてしまったのは、その事情の反映かも知れない。良い研究とは何か、誰が良い仕事をしたのかと云う判断基準に対する合意意見の形成が無いままに過ぎてしまったのだ。其の事がまた、宇宙線で「良い仕事」をするのを妨げてきたとも云える。

一例を挙げれば、何か「新しい現象を見付けた」場合、統計的な信頼性に言及することは当然だが当時の宇宙線研究では、特異な宇宙線現象を固有名詞を冠して呼ぶ許りで、それが本当に特異なのか、やや稀なだけで普通の現象なのかの判断も非常に曖昧だった。実際、今見るとき、当時特異な宇宙線現象とされ固有名詞を冠した現象は、H quanta, Centaurus, KGF event など沢山思い出せるのだが、その後の時間を経ても生き残ったものは僕は知らない。唯一の例外は丹生さんのX粒子であろうか、これは、数年後には特異現象ではなくチャーム粒子として加速器で精密に確認された。他の研究者、就中 community 外の人を納得させるには信頼性を明示するのは当然の要求であるが、このような要求に応えようとするような努力も少なかったと云へる。

これは必ずしも日本だけに限らない。外国でも遅れていて、例えば simulation の手法を本格的に活用しようしたのは笠原昌克さんらが世界でも初めて始めたことである。このような状況のもとでは、仕事の学問的意味のある評価は生まれにくい。(高エネルギー実験の simulation に比べて、宇宙線の simulation は、入射核種の多様性、超高エネルギー相互作用の不定性、宇宙線実験で重要な役割を果たす leading particle のより正確な扱い、桁違いに多い増殖粒子数など、当時の計算機の能力では、より難しい面があったことも一因である。)

適正な評価の困難さと相俟って、過剰な「民主主義」が重なって、研究とは何かも危ぶまれる状況があった。例えば、私がまだ原子核研究所理論部にいた頃で、まだ三宅さんが所長になる前だが、宇宙線観測所に専任所長を設ける時² 所長の選考はCRC実行委員会が担うことになっていたという。大学紛争の熱も冷めておらず、中国の文化大革命の影響で毛沢東語録も読まれた時代だが、CRC実行委員会の委

²1953年当初の観測所初代所長は平田森三氏、二代、三代は菊地正士氏と野中到氏が核研所長と兼ねた。野中氏は核研所長を退任後も1970年迄観測所長を続けている。その後、核研宇宙線部の菅浩一さんを経て、1972年に三宅三郎さんが初代専任所長になり、従来乗鞍の共同利用のための技官と事務官だけであった観測所に、研究部門が設けられて行く。宇宙線観測所固有の部門に新2部門と核研からの3部門を合わせ、宇宙線観測所から6部門1附属施設を持った宇宙線研究所として改組されるのは1976年5月25日の「国立学校設置法」の改正による。

員は大学院生も含めた宇宙線研究者の投票で選出され、今では考え難いことだが、委員会が選んだ初代専任所長候補者は博士号も未だ持たない 30 代の若手だったという。そして、結局その決定はご破算になって、改組後の初代所長は宇宙線物理の重鎮・三宅三郎さんがなった。当時、エマルション部に残っていた古いソファは所長予定者だったその若手が研究所に購入を指示して買ったものだ、と聞いて話が現実だったことに驚いたものだ。その出来事に象徴されるような、僕の思う学問第一主義とは異なる雰囲気、僕が赴任した 1979 年にも未だ残っていた。

陽子崩壊実験は理論家では KEK の菅原寛孝さんが中心になって必要性を説き、国内の実験家では東大理学部の小柴昌俊さんや宇宙線研ミュートロングループが夫々観測方法を提案し、機が熟し、予算を申請することになった。大統一理論の研究の一環ということで、小柴昌俊さんが代表の Kamiokande 計画、大阪市立大学の尾崎誠之助さんが代表の END 計画 (Experiment on Nuclear Decays)、三宅三郎さんが代表の KGF の増強の三つの実験計画と、KEK の菅原寛孝さんが代表の理論研究を加へ、四つの研究計画とし、総代表者は三宅三郎さんで科研費を申請した。この頃は特定研究領域という分類しか大型科研費はなかったの、そこへ申請した。1981 年度の科研費の申請を 1980 年に行うにあたっては、高橋嘉右さん、故須田博英さん、私の 3 人が幹事になり申請書を準備した。原稿は主に須田さんと私で相談して書いたが、Kamiokande 計画については、たとえ陽子崩壊が見つからなくても、大きな予算を使う実験だから多様な可能性を持った装置であることを説明する必要があると思ひ、大気ニュートリノの振動探索や、超新星ニュートリノ観測の可能性も書いた。後にそれらが実現したことは喜ばしい限りだ。

しかし、このテーマは当時の領域申請という主旨に合わないと言われ、最初の年は却下された。当時領域申請というのは一つの大分野に多くの研究者が集まって、研究を遂行するような主旨であり陽子崩壊実験は主旨に合わないと言われた。審査の久保亮五さんは申請は主旨に合わないが、緊急で重要なテーマの研究への支援も必要性がある、と言われたという。実際、翌年に文部省は特定研究を (I)(II) の 2 つに分け、このような研究も特定 (I) として入るようになり、西島和彦さんの応援も得て、1982 年 7 月には同年度の特定研究領域の内定通知が来た。それに先立ち 1981 年 7 月には三宅所長と三井金属鉱業社長との間で実験の協力の協定が結ばれるなど準備体制は整えられていった。科研費申請にあたって、三宅さんに総代表者になって頂くことは研究を分担する申請者全員の要請であったが、申請に

関わらないCRC 実行委員会の委員達から、研究所長が特定の大きな研究の代表者になることに疑義があると批判され、1980年12月15日付でCRC 実行委員長名で三宅さん宛てに批判の現状（疑義ありとする者6名、CRCで議論すべき問題ではないとする者4名）を伝える公式文書が出された。三宅先生は自らは批判の盾になりながら、非加速器物理の推進に尽力された。

採択に当たっては、国内に2つの陽子崩壊探索実験は無理と言うことでEND計画は落ち、Kamiokande、KGF、理論の3本柱で出発することになった。END計画は準備の段階でマンパワーが弱かった。END実験はneon flash tubeを並べてvideo 写真を撮り現象のトポロジーを解析しようとするもので、KEKの美甘昭司さん等が一所懸命になってみたが仲々見通しが立たなかった。是に引換へ Kamiokande groupのものは計算機による解析に適しており、とりわけ大学院生の有坂勝史君のやっていたシミュレーションが皆に強い印象を與へたようだ。

Kamiokandeの予算の分担は、実際はもっと入り組んでいるのだが、大まかには、光電子増倍管やエレクトロニクスは東大理学部で2.3億円、水タンクや純水装置がKEKで1.1億円、空洞掘削が宇宙線研究所で1.8億円となっていた。菅原さんは地下施設をKEKで分担するつもりでいたが、元KEK 管理部長で文部省に戻っていた重藤學二さんの示唆で、地下施設は宇宙線研究所に責任を持たせる事になり、KEKの分担は水タンク、純水装置などに限られることになった。須田さんはKamiokandeを宇宙線研も加わってやろうと云ふのを始めから考へてみたと思ふ。宇宙線研では須田さん達が恐らく太陽ニュートリノ観測を目的に地下施設を申請しようとして書いてみたのだが、この申請を神岡施設の申請として書き直す事となった。此様にして神岡地下施設は結局宇宙線研の施設と云ふ事になっていく。

Kamiokandeの準備段階で、須田さんに提案して、ひょっとして僕が役に立ったかもしれないことは、タンクへ光電子増倍管を設置する方法として、梯子を使わず、北海道のサイロ内部の修理で行われる水を入れながらの作業をヒントに、神岡でも、水を入れながらボートで設置したほうが安全ではありませんかと提案したことと、もう一つチェレンコフ光の水の減衰長の測定をレーザー光を用いて水の入ったパイプで行い、パイプ壁での反射のためか苦勞しておられたので、宇宙線ミュオンのタンク中のチェレンコフ光測定を使って減衰効果を見る方が確実ではありませんか、と提案したことだった。あるいは須田さんもすでにそう考へておられたかもしれない。

Kamiokande は 1983 年 7 月には観測が始まった。陽子崩壊は発見できなかったが、超新星ニュートリノ観測という特大の成果を上げた。超新星ニュートリノ観測の直後、神岡のデータの筈口令が解けて論文を投稿する日の朝、京大基研の福来正孝君から超新星ニュートリノの解析をしようという電話があつて、京都へ行きわずか 1 日で論文にまとめ、投稿したことがあつた。そんなことは後にも先にもこれだけだが、また、福来君の仕事の速さにも驚いたものだ。このほか、Kamiokande は大気ニュートリノ振動と解釈される ν_e/ν_μ ニュートリノ比の異常の観測、太陽ニュートリノの観測、超対称模型による陽子崩壊の上限の設定、など大きな成果をあげた。

三宅さんの KGF の実験は深さを生かし神岡の十分の一位の予算で装置の増強を行ったが、結局粒子の飛跡の到来方向を判別出来る迄の増強が出来なかった。それがあればニュートリノ振動など多様な観測ができたかもしれず残念であつた。

僕の宇宙線研の任期は 7 年と云ふ事で 86 年 5 月に東工大に移った。理学部の磯親先生に呼んで頂いたのだった。しかし 87 年 2 月 11 日の宇宙線研究所の運営委員会次期所長に選ばれて仕舞つた。当時の所外の運営委員には、小柴昌俊さん、三宅三郎さん、山口嘉夫さん、長谷川博一さん、太田周さん、佐藤文隆さん、野村亨さん、山田作衛さん、私、がいた。初めは神奈川大の櫻井邦朋さんも候補に上がっていたことをご本人が何かに書いておられたが、選考に上がった当事者は運営委員会を退席する習慣なので、自分は同席しておらず、詳しい議論は知らない。

この決定の運営委員会の後、小柴先生は私に、これから所長として木舟正さん達を助けて、小柴先生の提案した空気シャワー実験をやるのが良いと言われた（小柴先生の提案とは、高エネルギー宇宙線原子核が太陽光によって giant resonance を経て多数の粒子に光分解し多重コアの空気シャワーとなって降る現象を観測することで高エネルギー宇宙線の組成を調べるという提案だった。実験方法は永野元彦さんらが提案している 100km² の広域空気シャワー（後の AGASA）と面積は同じだが、測定器をシンチレータではなく水タンクにし、測定器の間隔を 1km でなく 250m に狭めると云うものだった）。

此頃宇宙線研はガタガタになっていた。前兆は 2 年前の 1985 年 11 月に行われた「宇宙線研究将来計画シンポジウム」だった。24 件の提案の多くは未だよく練れていない計画で、それらに適切な評価や整理も行はず、物理的に内容があると

は言えない多くのコメントや、中には悪口や個人攻撃に類するコメントまで付けた「Proceedings」が宇宙線研究所の出版物として出された。表紙の色から「赤本」と呼ばれたが、恥ずかしいことだった。

宇宙線研究所の失態は新聞にも取り上げられ、毎日新聞の1987年3月31日の記事は紙面の半分を割いて宇宙線研究所や宇宙線研究者の紛争と言う報道を行った。また新聞「赤旗」の1987年5月10日の記事には、文部省の審議会が「附置研究所の現状分析」と題して作った文書の内容が暴露され、それによれば審議会は国立大学附置研究所71機関の調査を行い、東大宇宙線研究所は他の17機関と共に「現状のままでは存在意義に乏しく組織の大幅な改変を要する」というランクに分類されていた。さらに宇宙線研究所に対する現状分析の要点には、「研究分野の再編成の必要がある。数年先には独立の研究所として認めるかどうか問題である」とあって、改組して他の研究機関に吸収する方向が示唆されていた。

おそらくこの結果は既に前年度には各研究所に通達されていたのだろう。前年度の1987年の1月には「附置研究所の見直し」という文書がある（文部省所轄並びに国立大学附置研究所長会議の資料か）。おそらく、上記の審議会の結果が前年度或いはそれ以前にすでに各所長に伝えられ、それに対する対応を解答することも求められていたのだろう。それによれば、宇宙線研究所に対する「指摘事項」には「高エネ研の改組問題と関連して検討を進める」とあり、これは審議会の現状分析の要点と符合する。それに対する宇宙線研からの「対応状況」には、「『学術会議物理研究連絡委員会原子核専門委員会』の検討（61年2月委員長私案）にもとづき、原子核分野の研究活動を、今後さらに強力に推進し、かつ、研究所の活性化を図るために、既存の共同利用機関を改組する計画が検討されている。宇宙線研究所としては、従来の研究分野からさらに発展したより広い分野で新しい計画を推進するために、将来計画検討小委員会で検討を行っている。この検討の結果と学術会議での検討の発展とあいまって研究所の将来計画策定の作業を進める。」とある。

この文章は、それ以前にさかのぼっての解説が必要だろう。学術会議では、物理研究連絡委員会の下にある原子核専門委員会の中に、宇宙線研究所を他分野の研究者も交えて“IAP” (Institute for Advanced Physics[仮称]) に改組するという検討を行うためのWorking Groupが設けられていた。委員には近藤所長のほか、早稲田大学の藤本陽一さん、埼玉大学の岬暁夫さん、宇宙線研究所の湯田利典さん、

などがいたと思う。一方、宇宙線研究所では共同利用運営委員会における小柴委員からの提案にもとづいて1986年10月に、近藤所長が「宇宙線研究所将来計画検討小委員会」を設けた。長島順清さんを委員長として、折戸周治さん、江尻宏泰さん、佐藤勝彦さん、福来正孝さん、藤本真克さん、千葉順成さん、永野元彦さん、松岡勝さん、それと私の10人で構成され、翌年私が所長になったため抜けて柳田昭平さんが入った。

この委員会は宇宙線研究の将来の重要な分野として、「高エネルギー宇宙物理」と「非加速器素粒子物理」を柱として、より広い視野で検討を行うことが期待された。この委員会の当初の近藤所長の狙いは、学術会議の原子核専門委員会を中心に検討しているIAPを念頭に「この小委員会はIAPで実現を期待するプロジェクトを検討し」「IAP実現努力の基礎となるように」（「検討小委員会の委員推薦について（依頼）」より）と考えて近藤所長が設立したものであった。

従って、上記の附置研究所に関連した文書の改組とは、IAPのことであり、検討とは原子核専門委員会のIAPのWorking Groupによる検討と、所内に作った将来計画検討小委員会による検討を指している。（ただIAPのWorking Groupに所長就任後出席したときの議論は宇宙線研究所将来計画検討小委員会の議論ほどには学問的ではなく失望したことを覚えている。）

このような宇宙線研究所は解体するという前提で議論が行われている荒れた雰囲気の中で、所長候補の決定には驚いた。三宅さんが84年に12年間の所長を辞めた後、鎌田甲一さんが2年、近藤一郎さんが1年と短い期間が続いた後だ。東工大では助手も付けて貰える直前まで話が進んでおり、着任して未だ1年で辞めては東工大とりわけ磯先生にも迷惑がかり、研究所へ戻ることはとんでもない話に思えたので、配達証明まで付けてお断りの手紙を近藤先生に提出した。しかし、このままでは宇宙線研究所はほぼ消滅に向かっていることは気になっていたところへ、三宅先生や太田周さんに説得され、有馬先生にも言われて、考えなおした。宇宙線研究所に戻り、スーパーカミオカンデをやるしかあるまい、スーパーカミオカンデを宇宙線研究所で実現できれば、宇宙線研究所が救われるとともに、日本の非加速器物理の発展に貢献できるだろう、と思った。戻る決心をして結局87年5月1日付で宇宙線研所長に着任した。僕が戻る迄の間は棚橋五郎さんが所長事務代理を努めた。

此頃Super Kamiokandeは計画は中々予算化出来ていなかった。人に聞いたとこ

ろでは、小柴さんは先づKEKに話を持掛けたが、西川さんと条件の調整が出来ず進まなかった。阪大で遣らさうとしたが阪大は宇宙物理講座の新設を優先する爲にこれも駄目、富山大にも話を持掛けたが此方でも小柴さんが赴任するくらいでない出来ないよう話が進まず、京大の基研に話を持って行こうかと云ふ事もあったようだ。

当時の所長は一年間だけ努めた近藤一郎さんだが、近藤さんは将来計画検討小委員会の立ち上げと共にもう一つ重要な事を行なった。即ち当時、宇宙線研究所の最重要決定機関である共同運営委員会のメンバーは、所内委員4名の他は、実行委員会委員13名全員に宇宙線分野以外の委員3名を所外委員として加えたメンバー構成になっていたのだが、近藤さんはCRCの推薦委員を4名に抑え、広く他分野と協力できるような改変を提案したのだ。藤本さん、岬さん等は此の改変に反対だったのだが、票決すれば負けると読んだのか、その場から退席してしまったのだ。かくして、近藤提案は其の儘通ってしまった。その結果として、小柴さん他が共運委に入り運営が学術的になったと云う意味で健全化した³。

スーパーカミオカンデの実現方法は、KEKの菅原寛孝さんに相談相手になっていただいた。菅原さんは、「スーパーカミオカンデはKEKでやるしかなかろうと思っていたが、君が宇宙線研究所でやるというなら、応援しよう」と言ってくれた。そして戸塚洋二君、中村健蔵君に宇宙線研究所に来てもらう必要があるだろうと言われた。

それで小柴さんのいる理学部へ行き、宇宙線研をSuper Kamiokandeのホストにする事と戸塚君を宇宙線研に割譲して貰ふ様をお願いに行った。これには菅原さんの口添もあり、戸塚君にもすでに菅原さんから話が行っていた。小柴さんは始め

³共同利用運営委員会の構成の改正は長く懸案だった。1976年に東大評議会で承認された同委員会規定には、委員会は研究所内外ほぼ同数の約14名の研究者で構成することになっている。しかし当時の構成はCRC実行委員13名の所属に依存して、所内4名、所外16名の計20名(+所長)の場合から、所内7名、所外13名の計20名(+所長)の場合まで、いずれも、総数と所内外の構成比の両方で説明しにくい構成だった。三宅所長は度々、同委員会に構成の変更を提案している。三宅さんの原案は4部の夫々に所内外2名ずつの委員を割り当て、関連他分野の委員3名を合わせ所内8名、所外11名、計19名(+所長)とするものだった。これでも委員会で賛成が得られず継続審議が続いたのだから、近藤所長の「宇宙線分野4名、関連他分野4名、東大理学部1名、各部主任計4名(+所長)」と言う案は筋では正しい方向だがCRCの一部に強い反発が生じた。そのことも含めてCRCの対立は近藤所長時代後も続き、CRCと宇宙線研究所だけでなく、後には原子核専門委員会も巻き込み、一部の新聞も取り上げることになった(1988年4月5日、毎日新聞記事など)。これらの共同利用のルールを守る改革には色々痛みを伴った。長い間、文部省からの正式の共同利用研究経費約1000万円/年の何倍もの使用申請が諸大学から出されそれに応じていた慣行から変わるには、各大学が自ら科研費をもっと申請する必要性が増したし、時には科研費の総合研究の種目を宇宙線研が主導してでも確保する必要が生じた。

はネガティブだったがその主な理由は宇宙線研は30人しか居ない研究所で、100億の計画をやるには小さ過ぎると云ふ事だった。いろいろと議論する内に「やってみるか」と云ってくれた。その上、予算配分に関する重要な学者のリストを教えてください。主な人は、早川幸男さん、小田稔さん、古在由秀さん、山崎敏光さん、有馬朗人さん、西川哲治さん、長倉三郎さんだった。此等は87年3月頃の話で僕が未だ正式に所長になる前だ。各先生のところへは後に、戸塚君や中村君と陳情に行った。また、その後、世界のノーベル賞クラスの学者達からスーパーカミオカンデの建設の重要性を訴える手紙5-6通を有馬総長あてに出してもらった。此は小柴さんを通してやって貰ったのだが、此の事をお願いに小柴さんの自宅へ行ったとき、そんな頼みは何故もっと早い時期にやらないか、と怒られた。それでも、スーパーカミオカンデの説明と意義を絵1枚、文章1枚にまとめて持ってきなさい、と言って引き受けてくれた。この推薦の手紙のコピーは文部省にも渡っていたので、後に1990年に科学新聞に数回にわたってスーパーカミオカンデは成果が出ないだろう、という国内の一部の人達の建設反対意見が載った時も、あまり心配しなかった。それは文部省に学問上の意義に関しては安心して予算化してもらう上で役に立ったと思う。

中村健蔵君の属するKEK所長の西川哲治さんのところに行くと、菅原さんの根回しがすでにあつたようで、快く了解してもらえた。西川さんはそのあと、大変に応援してくれた。学術会議では、西川さんは原子核専門委員会の委員長として、まず、宇宙線研究所がスーパーカミオカンデの建設に向かうのであれば改組する必要はなくなったので、原子核専門委員会の下にあるIAPのWorking Groupは解散しよう、と言って解散してくれた。さらに、KEK、東大原子核研究所、東大宇宙線研究所の3研究所がスーパーカミオカンデ実現のために協力する、という3所長覚書を作ってくれた。この覚書にもとづいてKEKはスーパーカミオカンデに人員を割いてくれることになり、大変にありがたいことだった。原子核研究所は計算機の共同利用や田無の敷地の問題に協力してくれることになり、東大駒場の宇宙科学研究所跡地の600m²のプレハブを田無に移設し神岡グループのスペースを確保できた。覚書を結ぶにあたってはKEKは文部省の直轄研究所であり、宇宙線研究所は東大の附置研究所であつて格が異なるため、格が対等な東大とKEKの間に了解が必要だった。それで、東大の有馬総長特別補佐と事務局長、及びKEKの所長と事務局長の両方の了解を得られる文言を決めるため、筑波と本郷を往復

したが、まだ若かったので全く苦にならなかった。有馬先生は、2年後に東大総長に選ばれた後も、東大をお辞めになった後も、様々なスーパーカミオカンデを応援してくれた。少し話は小さいが、宇宙線研究所の所長にはそれまで所長手当がつかなかったが、つけてくれるようになったのも有馬先生が総長の時である。これで他の東大附置研究所と同等になった。

初めは非加速器物理も加速器に関連していると思い、文部省の加速器部会で取り上げてくれるよう、働きかけたのだがうまくゆかず、宇宙ニュートリノ観測の面を強調して、小田稔先生が座長をされる宇宙部会へお願いした結果、hearingに呼ばれ、答申に入れて建設を進言していただいた。この変更は、菅原先生の示唆を受けたものだ。予算や人員を獲得する経緯はいろいろのことがあったが、そして何人もの方々に、特に菅原さんには大変お世話になったが、言及した方々にご迷惑がかかるかもしれないので、詳しくは語らない。幸い、1990年度に調査費、1991年度に建設費が付き神岡グループの奮闘で1996年3月完成した。1996年度には運転経費と必要人員もついたので僕の任務は済んだと思い、1997年3月所長を交代した。

学術会議では、西川先生の取り計らいでIAP構想が消えたため、当初IAPへの提言を目的とした宇宙線研究所将来計画検討小委員会は、純粹に宇宙線研究所の将来計画として提言していただくことに目的をやや修正した。1987年4月に中間報告、6月に最終報告が提出され、非加速器素粒子物理、高エネルギー天体物理、重力実験、関連理論を含む幅広い分野を推進すべきこと、スーパーカミオカンデによる陽子崩壊と天体ニュートリノ観測を研究所の最重要課題として推進すること、高エネルギーガンマ線天文学を優先的に推進し、統一性のある具体案がない段階では点源探索を行い、点源確認後は統一性のある観測体系を確立することが望ましいこと、学問の発展、R&Dの成果に応じ、柔軟で機動的な課題採択を行うとともに、独創的・萌芽的な中小課題を奨励する方法を確立すべきこと、などが提言された。

所長就任直後に名工大で日本物理学会が開かれ、その際、宇宙線分野の大先輩で名大学長でもある早川幸男先生に御挨拶に行き、よろしくご指導くださいと言うと、「研究所の教員全員の辞表を取りつけなさい、そうしたら応援してあげられる」と言われた。これが当時の宇宙線研が外からどう見られていたかを象徴する御意見だった。しかし、約10年後、早川先生にお会いしたとき、「1987年に言わ

れたことは実行できませんでした。」と申し上げると、「研究所は良くなったから、良いでしょう」と言ってくださった時は、とてもうれしかった。

一方、有馬先生の助言は現実的だった。「人事を全部刷新することは難しいでしょう。2割で良いから優れた人を取りなさい。2割いれば大丈夫だよ」と言われた。現実には、全体の2割ほどの、スーパーカミオカンデの活発な人達に来てもらおうと、神岡グループに刺激されて、他の研究グループも活発になって行った。

戸塚君と中村君を宇宙線研に呼ぶにあたって彼らの出した要求は400平米の実験室の確保、助手2人の確保、と大学院生をマスターコースより採れる様にする事の三点であったので、600平米のプレハブを設置し、教授ポスト2つに助手2人を充てる非常手段をとり、物理のコース会議で修士課程からの大学院生受け入れを認めてもらい、要件は満される様にした。

有馬さんが予算は100億を越すなと云ふので100億に抑へた。此爲 veto 用の外水槽は予算外となって仕舞ひ、戸塚君は最終的には共同研究者として入ったアメリカ側に外水槽の光電管設置を頼む事になった。

AGASA が予算化されたのは補正予算が付いたためだが、森総長が補佐会議を明野観測所で開きたいと言われ、急遽準備して、棚橋さん、永野さん、木舟さんが御一行をお迎えした。総長の御訪問には良いことがあるのでは、と期待していたら、広域空気シャワー (AGASA) の予算が付いた。当時総長特別補佐の有馬先生にお礼に行くと、宇宙線研究所はスーパーカミオカンデの予算が下りるまで、あるいは完成するまで時間がかかるだろうから、それまでに出来る事がないと大変だろう、と言われた。また、明野で会った研究所スタッフはやれそうだ、と判断したということで、ありがたかった。一方、短時間に100か所の地主の了解をとりつけ AGASA を建設した永野さん達、明野グループの奮闘も立派だった。

低バックグラウンドの実験を行う鋸山のトンネル施設は原子核研究所の故田中重男さんの使われていた施設を宇宙線研究所が引き継いだものだが、田無から遠くゲルマニウム検出器に定期的に液体窒素の交換に行くことも大変だった。山越先生は自費で近くに小屋を建てて利用しているほど鋸山施設への情熱が強かった。山越さんが亡くなられてからは、鋸山施設程度の低バックグラウンドは必ずしも鋸山のトンネルで無くても、地下室を整備すれば同等の環境が作られるので、柏の地下室に移転した。引っ越すに当たって、エレベータ付きの立派な地下室を大橋英雄さんが設計した。有効活用が望まれる。

もう一つ、重力波の低温鏡についても思い出がある。後発の日本が重力波観測実験で特色を出すには、物足りないと思へた。そこで鏡の熱振動を減らすことを考えてみた。かつて、KEKの山本明さんが宇宙線実験用に開発した軽い超伝導磁石をヒントに考えた。と言うのは、かつて福来君と中性子振動に関連して宇宙線反陽子を調べたとき、まだ良い実験結果が無く、日本で測定できないかと思った。KEK時代からの知り合いである超伝導磁石の専門家・山本明さんに相談に行き、三陸の日本の気球基地で上げられる気球の荷物は高々450kgと聞いていたので、その重量の範囲で超伝導磁石が作れないかと相談した。すると山本さんは1年後に驚異的で独創的な気球用の超伝導磁石を設計して持ってきてくれた。高純度のアルミニウムが低温で熱伝導性が高いことを利用して、超伝導磁石を直接Heで冷やすのではなく、Heで冷やした細かいアルミの針金で冷やすというのだ。すると磁石は超薄型となって運動量測定がソレノイド磁石の中で行えるため有効面積が2桁も大きくなるというのである。西村純さんの意見を聞くために山本君と一緒に訪ねると、西村さんは感激してこのアイデアをspace stationに使いたいと山本君を引き入れた。そのため宇宙線研でこのアイデアを生かし切ることは出来なかったが、space stationの話が消えた後、山本君は折戸君とBESS実験を始めることになった。

このアルミを思い出して、重力波測定の反射鏡の熱をアルミの糸で除けるか否かの計算をすると、レーザーの熱程度なら細かいアルミの糸でも外へ運び出せることが分かった。そこで、黒田和明さんに低温鏡を使った重力波実験をアルミで行ってはどうかと相談した。黒田さんも計算して見ると熱が除けそうだ、ということになったようで、KEKと一緒に検討を始めた。彼らは実験してみるとアルミは熱伝導は良くても振動のQ値が悪いという無理があり、結局アルミの代わりにサファイアを使うことで、Qを悪くせず熱を除くことに成功した。アルミを使うことは無理でサファイアに到達するまでの寄り道ではあったが、鏡の熱は細かい糸でも取り除けるという確信はひよっとするとお役に立てたかもしれない。とにかく、研究所の実験のことで頭がいっぱいだったころのことである。色々な思い出があるが、ここら辺で話を止める。

Kamiokande の頃 (1)¹

中畑雅行

1981年4月に学部4年生で小柴研究室に配属になり、1982年4月に大学院生(M1)になって、Kamiokande実験の準備に参加した。学部4年生ではKamiokande siteで宇宙線muonの強度がどのくらいになるかを計算した。大学院修士課程に入ってから、オンラインデータ収集システム、シミュレーション、データ解析ソフトウェアを担当した。Kamiokandeは1983年7月に完成し、データ取得が始まった。建設は、現場責任者の須田英博氏のもとで、実験メンバー10名程度でおこなった。特に、1983年3月から6月までの期間は光電子増倍管の取り付けのために須田英博氏、鈴木厚人氏(当時、小柴研助手)、有坂勝史氏(僕の3年上)、梶田隆章氏(僕の1年上)、中畑、瀧田正人氏(僕の1年下)はほとんどの期間、茂住に滞在した²。

検出器のシミュレーションプログラムは有坂氏が最初に開発し、1981年1月に修論としてまとめた³。1982年に有坂氏のシミュレーションの変更と改善を僕が引継いだ。事象生成シミュレーション(具体的には大気ニュートリノのシミュレーション)は素粒子論研究室の西村明俊氏が原型を作った。しかし、僕には不満足に思えたので改良に手を着けた。改良は1983年に始め、1984年1月に途中経過を修論としてまとめた。ニュートリノ反応の素過程の部分は修士論文の頃までにほぼ完成したが、パイ中間子の原子核効果の部分は矢崎紘一氏、梶谷敬一氏(矢崎氏のもとでoptical potentialを使った計算でPhDを取った人)にいろいろ聞きながら1984年に改良した。このシミュレーションでは、低エネルギー領域(数百MeV)

¹聞き書き(2009年11月)福来正孝。梶田隆章君による若干の修正が入っている。亦、中畑君によって補足拡充されている。最終稿は2011年9月22日。

²Kamiokande実験創始期の歴史に関してはA. Suzuki, Kamiokande: Historical account, in Physics and Astrophysics of Neutrinos (eds. M. Fukugita & A. Suzuki), Springer Verlag 1994, p. 388

³但しこの時Kamiokande検出器は最終的な形である円柱状ではなく、未だ立方体状のデザインを考えていた。See, A. Suzuki, in Physics and Astrophysics of Neutrinos, op. cit. Figure 4.

でも使えるように酸素核中の Fermi motion、Pauli principle、そして、相互作用後の lepton mass も考慮した。シミュレーションが完成したのは博士課程の2年の時で JPS Journal 論文としてまとめた⁴。

1984 - 5年頃から大気ニュートリノの事象率がシミュレーションと合わない事が見えつつあった。それは、1 ring の事象サンプルの中で $\mu \rightarrow e$ 崩壊が見えている事象の割合が、実験データはシミュレーションと比べて小さい値を示していた。 $\mu \rightarrow e$ 崩壊の検出効率の見積もりが間違っていないかなど、いろいろ調べたが答えはみつからなかった。(ちなみに、当時は粒子識別の解析ツールがまだあまり良くなかったことや詳細な議論ができるほど統計がなかったため、1 ring の μ 、 e それぞれの数は統計の範囲内ではシミュレーションと合っていた。) 1986年頃、梶田氏が ring topology を用いた粒子識別を詳しくやり始めた。梶田氏が作った粒子識別プログラムを使ったところ、1 ring event で μ -like と同定された現象のうち $\mu \rightarrow e$ 崩壊が見えている事象の割合が、見積られた $\mu \rightarrow e$ 崩壊検出効率と良くあった。しかし、梶田氏の粒子識別を使った場合には、データの 1 ring の μ と e の数の比がシミュレーションと合わないという「問題」が生じた。1987年頃には、梶田さんは neutrino oscillation ではないかと言始めていた。ただし、戸塚先生は慎重だった。1988年1月に書いた論文には μ/e 比が与へてあり、neutrino oscillation の可能性が一言だけ書いてある⁵。 μ/e 比がシミュレーションと合はないのが何に由来するのか未だ決定的には分らなかったからだ。

梶田氏は1986年1月の PhD 論文ではニュートリノ振動ではなく核子の π^+ meson mode への崩壊の制限を扱った⁶。ニュートリノ振動としての解析を積極的に始めたのは瀧田君がそれを PhD 論文として解析した1988年頃だった。当時の解析はいわゆる sub-GeV の解析 ($<1.33\text{GeV}$) であり、multi-GeV の解析は1988年の論文のすぐ後に始められたが、本格的に解析が行われたのは1992 - 3年の頃だった。

元来の目的である核子崩壊については84年頃迄の実験では全く見えず、小柴

⁴M. Nakahata et al. J. Phys. Soc. Jpn 55, 3786 (1986)

⁵K. S. Hirata et al. Experimental study of the atmospheric neutrino flux, Phys, Lett, B205, 416(1988)<1988-1-25>

⁶T. Kajita et al. Search for nuclear decays into aulineutrino + mesons, J. Phys, Soc. Jpn 55, 711(1986)

先生は1983年に既に大きい検出器を作らねばと云い出していた。JACK (Japan-American Collaboration at Kamioka) と呼んでいたが、これは現在の Superkamiokande に相当するものである。

Kamiokande による太陽ニュートリノの検出については小柴先生が1983年に言い出した。(小柴先生によると、JACKの提案と太陽ニュートリノの提案とは同じ会議でおこなったらしい。) 太陽ニュートリノの検出のためには、anti-counter層を作ることと、timingを読み出すことができる電子回路が必要だった。後者の電子回路については、ペンシルバニア大学(ペン大)のAl Mannが参加したいと言ってきた。ちなみにKamiokandeの最初の電子回路は増倍管の電荷情報しか読み出していなかった。triggerも総電荷量を使ってかけていたため、増倍管のノイズのために観測可能なエネルギーしきい値をあまり下げることができなくて、30MeV位だった。anti-counter層は、日本人メンバーによって1984年秋頃から1985年春頃にかけて建設され、Kamiokakandeのphase 2が1985年4月にスタートした。ペン大の電子回路は、当初1985年春の導入を目指していたが遅れてしまい、結局導入されたのは1985年11月だった。phase 2が始まってからペン大の電子回路が入るまでの間は、戸塚・梶田が作ったeventの形態形状を考慮したトリガーが使われた。これによりthresholdが13-4MeVにさがった。ペン大の電子回路が入った後はthresholdが7MeV位に下がった。これはPMTの時間情報を使うことによって、パルス幅が短いCherenkov光イベントを選択し易くなったためである。

anti-counter層を入れて1985年始めにphase 2がスタートしたが、trigger rateが未だ高過ぎた。これは ^{226}Rn の崩壊によるものかもしれないので、水の供給を止めてtrigger rateがRnの崩壊にしたがって減少するか見てみようと言った。鈴木厚人氏が言い出した。これによってtrigger rateは大きく減少した⁷。何とか ^8B 崩壊起源の太陽ニュートリノをポジティブに観測し始めたのは1987年始めだった⁸。

超新星 1987A

1987年2月25日(水)、Sid Bludmanから東京大学素粒子物理国際セン

⁷A. Suzuki, in Physics and Astrophysics of Neutrinos, op. cit., Fig.19, Fig.22

⁸K. S. Hirata et al. Observation of ^8B solar neutrinos in the Kamiokande detector, Phys. Rev. Lett, 63, 16 (1989)

ター（以下、素粒子センター）に fax が届いた。fax は E. W. Beier（ペンシルバニア大（ペン大））宛で、「4 - 7 日前に Large Magellanic Cloud で超新星爆発があった。カミオカンデで見ることにはできるか？」といった内容であった。戸塚先生は神岡の研究者に連絡して、すぐデータを記録した磁気テープを素粒子センターに送ってほしいと伝えた。当時、カミオカンデのデータはオープンリール式の磁気テープに記録されていて、テープは 10 本貯まるごとに宅急便で素粒子センターへ送られていた。Budman からの fax を受け、10 本貯まらなくてもすぐ送ってほしいという要請であった。その頃カミオカンデでは、タンクを気密化する工事の準備が進められており、神岡にいた研究者は、須田英博先生（宇宙線研）、鈴木厚人さん（東大）、佐藤伸明君（東大学生）、E. W. Beier（ペン大）、S. B. Kim（ペン大学生）であった。この気密化工事は日程がすこし遅れていて、もし予定通り工事が行われていたら超新星爆発の日にデータを取っていなかったかもしれない。こうして磁気テープは 26 日に神岡鉱山から背負子で茂住部落の宅急便収集所に運ばれ東大に送られた。

2 月 26 日（木）から情報収集、データ解析の準備が行われた。戸塚先生は天文台の香西洋樹氏から IAU circular の内容を教えてもらい、また fax でも送ってもらった。データ解析については、戸塚先生の指導のもと、私（当時博士 3 年）、平田慶子さん（当時修士 1 年）が解析プログラムを作った。戸塚先生が Nhit vs. Time 2 次元 plot を平田さんに作るように言った。（Nhit とはそれぞれのイベントでヒットした PMT の本数で、第 1 次近似としてはイベントのエネルギーに比例する。）

当初は電気ノイズイベントが邪魔して超新星を探せるような plot は作れなかった。そこで私は space reconstruction をして Cherenkov 光による事象を選ぶことによって電気ノイズイベントを排除することを提案し、その後はノイズに影響されない plot が作れるようになった。

2 月 27 日（金）の午後に神岡からの磁気テープが到着した。届いたテープは 2 月 20 日から 2 月 25 日までに取得されたデータであった。この日の夜（徹夜で）私が data reduction, space reconstruction のプログラムを走らせて解析の準備をした。

2 月 28 日（土）の朝早く、平田さんが来て Nhit vs. Time plot を作りプリン

ターに打ち出した。しかし、あまりにもページ数が多かったためにプリンターの排出口で詰まってしまい、私がその対処にあたった。とりあえず印刷された分をとりだして詰まった紙を取り除いている間に、平田さんがとりだされた出力用紙をパラパラとめくって鋭いピーク状の信号を見つけ、私に「これって何ですか？」と聞いた。20-30MeV 相当以上のエネルギーのイベントがいくつかあることから(宇宙線 μ による spallation 事象ではエネルギーが高くても高々15MeV 程度であること、大気ニュートリノ事象においてもこれほどエネルギーが低い事象はめったにないし、ましてそれが10秒以内に複数起こることは確率的にほとんどあり得ない)、私は即座にこれが期待していた超新星ニュートリノの信号であることがわかり、かなり興奮した。また、安堵した。カミオカンデのオンラインソフトウェアは私が書いたが2時間おきに約2分間ペDESTALランという電子回路のゼロ点調節が走っていた。もし、超新星ニュートリノがペDESTALランの最中に来ていたら、大事なイベントを逃してしまったということになる。2月25日以来、このことがずっと気になっていた。安堵したのはこのペDESTALランにかかっていなかったためである。ちなみに、1987aの信号は直前のペDESTALランから3分後であった。

その日(2月28日(土))の午前の遅い時間(午後一番だったかもしれない)に戸塚先生が素粒子センターに来たので、発見の報告をした。その後、いろいろな分布を作って信号が確実なものであることを確認した。例えば、10秒間おきのイベント数分布を作って、SN1987Aの信号以外はちゃんと Poisson 分布に従っていること、sn1987a イベントの display を見てちゃんとした Cherenkov ring を形成していること、イベントの goodness(PMT ヒット信号の時間の鋭さを示し、Cherenkov 事象ではその値が大きい)が良いこと⁹、などを確認した。最初の2イベントが超新星の方向と良く一致していることに驚いた。(後に方向 fit プログラムを改良したところ、2番目のイベントは方向が離れてしまったが。)

3月1日(日)に戸塚先生が小柴先生へ電話をして発見を伝えようとしたが、小柴先生は不在だった。後から聞いた話では、小柴先生は箱根の温泉に行っていた

⁹それぞれの PMT が光を受けた timing を T_i とし、事象の発生点からその PMT までの光の Time of flight を TOF_i とすると、信号を受けた PMT に対して $T_i - TOF_i$ のヒストグラムを作ると Cherenkov 光による事象では幅の狭い分布になる。この狭さを goodness というパラメータで定量化していた。[原註]

らしい。この日、戸塚先生はシフトのため神岡へ向かった。戸塚先生から、「明日の朝、小柴先生に報告しておいてくれ」と言われた。

3月2日(月)の朝、小柴先生に発見を報告した。しかし、小柴先生はニコリともせず、今までに取ったカミオカンデのすべてのデータを解析して、このような候補はこのSN1987Aの信号のみであったということを示しなさい、という「宿題」を私に与えた。この日以降一週間ぐらいはあまり寝る間もなく解析をした。(結局のところ、すべてのデータを1週間で解析することはできず、1987年1月9日から43日分のデータ解析で勘弁してもらった。)

3月2日(月)から3月6日(金)にかけて私、平田さん、鈴木厚人さん、瀧田正人君で論文にするためのデータ作りをした。具体的には、前記の43日分のデータ解析、モンテカルロを各イベントのgeometryで発生させて、エネルギー、方向の決定、誤差の評価をした。こうした解析の間も小柴先生から箝口令がひかれており、外部には情報をいっさい出せなかった。神岡へシフトで行っていた戸塚先生は、「いつになったら発表するんだ。」と文句を言っていた。3月2日にモンブラントンネルでの実験でFeb.23.124UTにニュートリノ事象があったという報告がIAU circularに出て、すぐその時間のカミオカンデのデータを見たが、まったく信号の兆候はなかった。

3月5日(木) - 6日(金)にかけて、小柴先生、A.K.Mann、E.W.Beier、戸塚先生、須田先生は素粒子センターの輪講室にこもり、論文の執筆をした。

3月7日(土)にPhysical Review Letterへの論文が完成し、郵便局からビジネスメールを投函した¹⁰。論文作成を終えてホッとしていた時、佐藤伸明君と平田慶子さんが話をしているうちに超新星に対する方向を計算するプログラムにバグがあったことに気づいた。赤緯の0度方向を勘違いしていたらしい。プログラムを見直したところ、実はもうひとつバグがあつて(それはsin/cosの入力ミス)、それらを相殺すると結果はほんのすこししか変わらなかったが、数字は微妙にかわってしまった。急遽、小柴先生たちも呼んで論文の訂正をした。小柴先生は平田さんに「男だったら切腹もんだ。」と叱った。訂正した論文を差し替えに郵便局へ行ったが、営業時間を過ぎてしまっていたため、実際には3月9日(月)に鈴木厚人

¹⁰K. Hirata et al. Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A, Phys. Rev. Lett. 58, 1490(1987)

さんが神田の郵便局まで行き、まだアメリカに送られる前だったビジネスメールと差し替えた。

SN1987A の解析において苦労したことのひとつは絶対時刻の決定であった。そもそも Kamiokande は 10^{31} 年といった陽子の崩壊寿命を測るための実験装置だったため 1 分ぐらいの絶対時刻のずれは気にしていなかった（戸塚先生の joke）。各事象の絶対時刻はデータ収集用のオンラインコンピューターが記録していたが、そのコンピューターの時刻は内部クロックを使っていたため経時的に変化していた。Kamiokande シフトの仕事の一つは 1 1 7 へ電話してシフト室の柱にかかっている時計の時刻を直し、それとコンピューターの時刻を合わせることだった。しかし、超新星ニュートリノが観測された日から数日後に大山君がその時計を落として壊してしまい柱時計の情報が失われてしまった。結局、絶対時刻は以下の 2 つの方法で確認された。ひとつは 2 月 23 日に須田先生がモデムを使って Kamiokande の観測状況を宇宙線研からモニターした時の打ち出しだった。そこに残っていたモニターパソコンの時刻と観測状況に記録されていたオンラインコンピューター時刻を比較した。（もちろん、このパソコンの絶対時刻は後日確認した。）もうひとつの絶対時刻情報は超新星観測の日から数日後に神岡で停電があり、その停電直前のイベント時刻と電力会社が記録していた停電の絶対時刻を比較した。これらの比較により何とか ± 1 分ではコンピューターの時刻が合っていたという確信を得た。

カミオカンデでの太陽ニュートリノ観測

1987 年 1 月頃からバックグラウンドの低いデータが取られていたが、1987 年中はなかなか太陽ニュートリノの信号が見えなかった。しかし、flux の upper limit ととしては明らかに標準太陽モデルからの予想値よりは低いことがわかり、私はこの upper limit の結果で博士論文を 1987 年後半に書いた¹¹。この年に Bahcall の flux の予想値が 30% ぐらい大きくなったことも結論を出す助けになった。カミオカンデグループは 1988 年 4 月に拠点を素粒子センターから宇宙線研究所へ移した。スーパーカミオカンデを宇宙線研究所において推進していくためである。太陽ニュートリノの解析は原子核研究所の大型計算機で行うようになった。198

¹¹M. Nakahata, Search for ^8B Solar Neutrinos at KAMIOKANDE-II, PhD. thesis, 1988.

8年5月頃までにとった450日分のデータでやっと3 sigmaレベルの太陽ニュートリノ信号が見え始めた。しかし、すぐに論文にすることはできなかった。当時、データ解析はペンシルバニア大学（以下、ペン大）でも独立に進められていた。ペン大が行った解析と私が行った解析とがなかなか一致せず、collaborationとしてどのflux値で論文を書くか折り合いがつかなかったためである。当時の解析では、実験の生データ、キャリブレーションの生データのみが共通のデータであり、モンテカルロシミュレーション、エネルギーの換算係数などの解析に基本的なツールは独立に開発されていた。event by eventでデータを比較したところ、太陽ニュートリノ信号は80%以上ペン大と東大で共通の事象を選んでいたが、バックグラウンドになる事象は共通事象が50%程度だった。また、適用するカット条件もまったく異なっていた。そのため、flux値に20%程度の違いが生まれてしまっていた。違いの原因を理解するのに1年近い歳月を要した。結局、違いはバックグラウンドの統計的なふらつきであることが分かった。当時は電子メールなどなかったため、日々手書きのfaxを宇宙線研とペン大で送りあっていた。時として、ペン大の研究者と険悪な雰囲気になることもあった。結局、太陽ニュートリノの論文[註8]ができたのは1989年4月だった。論文で採用された結果は東大の方の解析結果だった。

Kamiokandeの頃 (2)

梶田隆章

1981年4月に大学院学生として入った当時の小柴研究室では、ドイツ DESY の PETRA での JADE 実験に参加して博士論文のための研究をしている人が多かった。そんななかで、有坂勝史さん（私の2年上）が陽子崩壊実験の準備を小柴研の学生としては一人で行っていた。有坂さんは修士論文で陽子崩壊実験のための準備研究、特にモンテ・カルロ・シミュレーションのコードを書いて感度を詳細に調べていた。

この陽子崩壊実験は後にカミオカンデと命名されたので、以下カミオカンデと記載する。ちなみにカミオカンデは KAMIOKA Nucleon Decay Experiment の頭字で小柴先生の命名である。

修士1年に入ってすぐに有坂さんから陽子崩壊を一緒にやらないかと誘われて陽子崩壊実験に参加することになった。ちょうど私が修士1年に入る少し前に20インチ光電子増倍管ができたところでもあり、まずは新たにできた光電子増倍管の特性検査を有坂さんの指導のもとで行った。特性検査として様々な検査項目があったが、いくつかについては製造会社である浜松テレビ（現在の浜松ホトニクス）まで出掛けて行った。私が光電子増倍管について関わったのは修士の間くらいであったが、有坂さんはその後も光検出器についていろいろと開発などに関わってきたと了解している。

光電子増倍管の性能は問題ないものであった。問題は光電子増倍管を水中で使うことであった。この点について高エネルギー物理学研究所（当時、以下 KEK）の鈴木厚人先生が担当していた。まずは光電子増倍管をどのように水中で固定するかという問題があった。このことをテストするため、鈴木厚人先生は KEK に、大きさは正確に覚えていないが、8m × 8m 程度の表面積で高さ 1 m 強の試験用水槽を製作した。これに参加していたのは、鈴木厚人、有坂勝史、西村明俊、小林真、宮野和政の各氏と梶田で、高橋嘉右、須田英博両先生もときどき見に来ていた。小林真氏は私と同じ学年で、この水槽でいろいろなテストをして修士論文を

書き学外に就職した。

戸塚洋二先生は、1981年の春にドイツから日本に戻り、初めはLEPのための準備をしていたが、小柴研でカミオカンデの準備をしていたのが小柴先生を別にすれば大学院学生だけだったためか、少しずつカミオカンデのことを面倒みてくれるようになった

光電子増倍管は水槽の中に固定しなければならない。光電子増倍管の水中での浮力は約50kgあるので、それを浮かないようにするのは簡単ではない。最初は漁網で光電子増倍管を1個ずつ金具に固定することを試みたが、あとで試験用水槽から水を抜いて見たところ、網が伸びていて、本番で光電子増倍管の固定に使うのは難しいことがわかった。最終的に光電子増倍管の最大径のところと少し後部の約10インチの短い円筒部分で、ステンレスのバンドの内側にゴムを貼り付けて抑えることにした。これが誰のアイデアだったか正確には覚えていないが、たぶん有坂さんだと思う。いずれにしてもこの金具の図面は有坂さんが書いていた。

光電子増倍管を水中で使うにあたってのもう一つの懸念は、光電子増倍管にかかる約2kVの高電圧を各ダイノードに分配する回路の防水であった。これについても鈴木厚人先生が浜松テレビと開発していったと記憶している。結局、光電子増倍管のダイノードの電極が出ているところにブリーダー回路を半田付けで取り付け、それを囲むように塩化ビニール管を置いて防水の為にそこに樹脂を流し込んで防水することにした。これで実験はできたが、1000本の光電子増倍管全数の防水が完全とは云へず、後のスーパーカミオカンデでは改良型を使った。スーパーカミオカンデでの防水も鈴木厚人先生が担当した。

20インチ光電子増倍管について、その大きさ故、当初からもし壊した場合にその爆縮がすさまじいもので危険ではないかとの懸念があった。そこでKEKで光電子増倍管を割ってみて、その破壊力を確認することにした。もっとも近くで人の手で割るのは怖いので、不良品の光電子増倍管を空き地に置いて、遠くから石を投げて割ることを試みた。もっとも遠くからなので、なかなか割れなかった。いずれにしてもやはり爆発音はすごいもので、光電子増倍管の取り扱いに対する細心の注意が必要なことを思い知らされた。

また、光電子増倍管が水圧によって破壊された際に、どうなるか（隣の光電子増倍管を壊さないか）についても心配の種であった。そこで先に書いたKEKの試験用水槽に光電子増倍管を本番と同じ1メートルのグリッドで配置して、そのう

ちの1つを割ることをした。結局大きな水柱が立ったが、隣の光電子増倍管は無事であった。しかし、あとで考えれば、この試験を行うには水深が全く足らなかった¹。

20インチ光電子増倍管は大きいため、地磁気程度の磁場でもゲインの場所依存性があり、それが問題であることは、早い段階でわかった。当時の宇宙線研でカミオカンデに参加していた須田英博先生が、田無のどの建物かは覚えていないが、ヘルムホルツコイルを作って光電子増倍管の磁場特性を詳しく調べた。地磁気があると、悪い場合には地磁気が無い場合の20%位のゲインになってしまい、このような方向依存性があると精密な測定は不可能なことは一目瞭然で、対策が必要であった。

2つの方法が検討された。1つはミューメタルで地磁気を遮蔽すること。ただこの方法では、フォトカソードからダイノード間の磁場を落とすためにはミューメタルをフォトカソードより前に出さねばならず、それでは光を十分受けられない。そこでフォトカソードの前にメッシュ状に加工したミューメタルとフォトカソードの後ろにコーン状のミューメタルの組み合わせで磁場を落とすことになった。それと同時にカミオカンデのタンクの周りにコイルを巻いて磁場を打消す方法も調べられた。コイルを巻いて磁場を消すことについては梶田が計算をしたが、うまくコイルを配置すれば結構うまくいくことがわかった。結局両方法とも使うことになった。

光電子増倍管を水槽内に入れる前にゲインを全数キャリブレーションすることになった。1982年の秋、神岡鉱山でアクセスの便利な茂住坑口事務所で行った。一部は他の場所でも行ったかもしれない。しばらくの間、私と一学年下の中畑君で毎日神岡鉱山の坑口事務所朝から晩までこの作業を繰り返した。梶田は光電子増倍管のキャリブレーションで修士論文を書いた。

1983年の初になってもオンラインのデータ収集システムが未整備であったので、小柴研で私の1年上の真下哲郎さんが協力してくれ、中畑君との共同作業で短時間（1-2ヶ月？）で完成した。

カミオカンデの建設

カミオカンデの空洞掘削と水槽建設が終わって現地に資材を運んで光電子増倍

¹2001年に起った SuperKamiokande での事故は正に光電子増倍管の内一個が水圧によって破碎し、その衝撃波の伝播により連鎖反動的に起ったのである。

管の取付作業を開始したのは1983年の3月頃である。カミオカンデではあらかじめ高電圧と水槽上面の位置にあるエレキに繋がる信号ケーブルを光電子増倍管の近くまで配線しておき、光電子増倍管を水槽に設置したときに光電子増倍管より出るケーブルとを接続する方法をとった。そのため、水槽での光電子増倍管取り付け作業の前に、高さ16メートルの水槽にケーブルを全数の増倍管用に配線しておかねばならなかった。そのため、須田先生が一人乗りのゴンドラに乗ってこの作業をやった。弱音を吐くことのない須田先生が珍しく「船酔いした」と顔面蒼白になって話していた。

水槽への光電子増倍管の取り付けは底面からアクセスできる側面の下からの2段と底面から始めた。1983年4月頃である。作業はほぼ神岡常駐の須田先生、鈴木厚人先生、有坂さん、中畑君、それから修士1年に入った瀧田正人君と梶田、また戸塚先生、木舟正先生、新潟大の宮野和政先生などもかなり頻繁に来て行った。素粒子センターから井森さん、技官の田中さんも応援にきていただいたこともあった。

この頃、宇宙線研が鉱山のアパート2世帯分を借り上げて常駐に近い人たちが泊まった。1世帯分は教官が使い、1世帯分は大学院学生が使った。この頃は須田先生が現場で指揮をとり、毎晩アパートで鈴木厚人先生と明日の作業などについて打ち合わせをしていた。毎晩非常に長い時間をかけてやった須田先生の打ち合わせに付き合った鈴木先生には感心した。

底面から作業が出来る光電子増倍管の取り付けが終わったくらいのとき、すぐに水を入れろという小柴先生と、確認をしてからと主張する須田先生の間で大議論になった。この時はともかく高電圧をかけて信号をオシロで見させてほしいとの須田先生の主張が受け入れられた。これを受けて(たぶん)中畑君、戸塚先生、須田先生が「二の方」をして高電圧と信号の確認作業を行った(坑道に入る二番手を鉱山用語で「二の方」と云う)。

光電子増倍管の防水と共に、ケーブルの接続部分の防水も懸念事項であった。そのため様々な案がテストされて方法が決められた。結局ポリエチレン被覆の同軸ケーブルをポリエチレンの熱収縮チューブで覆い、ポリエチレンどうしを溶着して接続点を防水するという方法をとった。しかし本番で熱収縮チューブを加熱しすぎたのか、内部のポリエチレンまで溶けてしまい、グラウンド線と高圧線が接触、あるいはそれに近いものが非常に多く出来て仕舞うという大失敗であった。すぐに須田先生が少し変更した案を出し、うまく行きそうだとということで、これに

変更し、だいたい1週間でやり直し、建設作業に戻れた。

その後、水を下から2メートルくらいまで入れて、最初のデータが取れたときの嬉しさは忘れない。最初からうまくデータが取れ、オンラインデータ収集プログラムを書いた真下さんと中畑君に感心した。

側面は水を入れながら、ゴムボートに乗って、金具を取り付けた光電子増倍管の取り付けを一つ一つ行った。これはうまくいったと記憶している。ただ、このゴムボートに降りるのに1人乗りのゴンドラで降りることになっていて、そのゴンドラを上まで揚げなければ2人目が降りてくることができない。ゴンドラを動かすには人がそこに乗ってボタンを押し続けねばならないので、上まで無人であげることができないことが判明した。今だったら保安安全上許されないのだろうが、無人でボタンを押しておくものを現場で作って、2人以上の人がボートの上で作業できるようになった。

上面は、3個ずつ並べた光電子増倍管のモジュールを作っておいて上面からクレーンで取り付け、これも無事終わることができた。このようにして光電子増倍管の取り付けが完了し、1983年7月6日にカミオカンデはデータ収集を開始することができた。

カミオカンデの初期の頃

カミオカンデでデータを取り始めて、データ解析が始まった。実はこの時データを取り始めるまで事象再構成のプログラムがなく、急遽これらのプログラムの製作が始まった。まず事象の発生点を再構成するプログラムは戸塚先生が書いた。データ・リダクションのメインの部分は有坂さんが担当したかと思う。エネルギーキャリブレーションは中畑君がやった。

カミオカンデでは水槽に水を入れながら光電子増倍管の取り付け作業をしていたので、初期の水質は十分よいとは言えず、散乱光が多かった。この状況を見て小柴先生が紫外線吸収剤を水槽に入れたいと提案した。いくら大きい光電子増倍管とはいえ紫外線が受からなければ光量は大きく減るはずで、この改造案はそんなにうまくいかないのではないかと考え、鈴木厚人先生とこれだけはやりたくないかと相談していた。もともと、常時水槽に新しい水を供給していたため、割合と短時間できれいな水となってこの問題は忘れ去られた。梶田もこのことは忘れていたが、小柴先生のノーベル賞受賞後に昔のことを鈴木先生が書いているのを読

んで思い出した。

実験を始めてから2ヶ月位たって、きれいな3リングの事象が観測された。また事象を再構成してみると、運動量の和が陽子崩壊の一つの指標にしていた $\leq 400\text{MeV}/c$ を満し、結構小さかった。このイベントは陽子がミューオンと η 中間子に崩壊したのと矛盾がなく、かなりの興奮であった。結局、同じ崩壊モードの事象は後に続かなかつたし、またこの事象で観測された運動量の和も陽子崩壊にしては少し大きめであったということもあって、陽子崩壊の発見とはならなかった。

同じ頃、宇宙線ミューオンが測定器水槽内で止まり、その後2マイクロ秒程度で崩壊したときに放出された電子のエネルギー・スペクトルを見て、小柴先生が約15 MeV位まではバックグラウンドなしで綺麗にスペクトルが取れているのであるから、装置を改造して太陽ニュートリノを観測すべきだと提案した。

また同時に小柴先生はカミオカンデでは太陽ニュートリノが観測できたとしても、十分なイベント数がなくていろいろな研究はできないとして、今のスーパーカミオカンデの提案をした。このとき装置の名前はJACK (Japan America Collaboration at Kamioka) と呼んでいた。今のスーパーカミオカンデの名前を使うようになったのは1984年からだ。

カミオカンデ-IIに向けて

カミオカンデでの太陽ニュートリノ観測の提案を受けて、各チャンネルにTDCを取り付けることと、外部からの粒子を除くためにアンタイカウンターを設置することが検討されたように記憶している。1984年の1月初めに小柴先生がICOBAN 84の会議でカミオカンデの結果と共に、これらの提案をしてくるとのことだった。と云うことで、戸塚先生以下全員で正月無しで小柴先生の発表の資料を作った²。

ICOBAN 84の会議での小柴先生の提案に対して、Pennsylvania大のA. K. Mannが興味を示した。そして1984年3月にPenn大から、A.K.Mann, E.W. Beier, R. van Verg, BNLからD. H. White, またCaltechのポスドクだったB. Cortezが東京に来て、カミオカンデでの共同研究に関する最初の打ち合わせを行った。アメリカ側の提案はデッドタイムフリーのADC+TDCシステムであった。日本側はアンタイカウンターを分担すると云うものだ。

梶田は1984年の夏2ヶ月Pennsylvania大に滞在してエレキの開発を手伝った。

²小柴先生の「心覚へ」によると、先生はインフルエンザに罹り結局ICOBAN 84には行つてをらず、先生がAl Mannに話を頼んでいる（福来註）。

手伝ったことがどれだけ役にたったかは知らないが、自分としては非常に良いエレキの勉強の機会になった。もっともその後エレキのことに関わることはなかった。

アンタイカウンターを取り付けるための工事は鈴木厚人先生が担当した。工事は主に1984年の後半から1986年頃だったと思う。カミオカンデのアンタイカウンターは上面については建設時に水槽上面より約60cm程度下に光電子増倍管が取り付けられていたので、その空間に水を入れ、光電子増倍管を設置してアンタイカウンターとした。底面は側面の一番下の段の光電子増倍管を取り除いて底面を約1.2m嵩上げして空間をつくりそこに底面のアンタイカウンターを設置した。私は直接その現場にいなかったが、光電子増倍管を取り付けてある底面を一斉に嵩上げする工事の際、支えがぐらついて全体が傾きかけ、たまたま金具の一部が別な金具にぶつかって止まり、底面の光電子増倍管が壊れる事故になるのを免れたと聞いた。

側面のアンタイカウンターは水タンクとそれをとり囲む岩盤の間に水を入れカウンターにしようとするもので、三本ある坑道からタンクへの進入路を鉄筋コンクリートの壁でふさいでしまい、水槽外側の防水（さび止め）と岩盤からの水漏れ対策を目的としてゴム・アスファルトで塗装して水槽とし、そこに光電子増倍管を設置した。残念ながら側面の岩盤面の防水は完璧ではなく、水漏れで水位がある程度までしか上がらなかった。水漏れは1時間10トンくらいに達した。何度も問題のありそうな箇所を探しては上塗りしたが、結局水漏れはなくならなかった。最後は漏れる量より注水する量を増やしてどうにか側面のアンタイカウンター層を予定通りの水位に保つことができるようになった。大体毎時15~20トンの注水量であった。この工事では鈴木厚人先生は大変な苦勞をしていたと思う。

カミオカンデの初期のトリガー閾値は30MeVであった。Pennsylvania大のエレキが入るまでの間に今までより低エネルギー領域のことを確認することも視野に入れて、低エネルギーのイベントが取れるトリガーを作成した。最初の案は戸塚先生によるもので、梶田が実際に作業をした。1984年に開始して1985年3月末頃現地で取り付けた。正確には覚えていないが、一応8.5MeVでは光電子増倍管のアクシデンタル・ヒットによるトリガーはほとんどないと期待されていた。しかし、いざ入れてみると約500Hzで予想と全く違った。この時に鈴木厚人先生が純水装置を止めてみることを提案した。やってみると数日で目に見えてトリガーレートが減っていくことが確認された。これによって、半減期3.8日で減っていくラドン

が問題であることが初めてわかった。これ以降、カミオカンデではラドンのバックグラウンドとの戦いが始まることになった。

カミオカンデの純水装置は当初の設計では水中での光の透過率をあげることを目的としていた。また坑内を流れる水は非常にきれいであった。そのため、カミオカンデでは当初は坑内の水を、フィルターを通しただけで測定器水槽に入れていた。これでもおおよそ30mの透過率があった。透過率は宇宙線の突き抜けミュオンを用いて測ったものだ。ラドンが問題であることが判明したので坑内の水を常時注入することはできなくなり、水槽と純水装置で循環しながら純化をする必要が生じた。これはなかなか大変なことであった。循環した水は水槽内に約1月滞留するのであるが、その間にバクテリアが発生する。その都度塩素(次亜塩素酸ナトリウム)での殺菌を行う必要があった。また循環しながらの純化の初期にはいろいろなトラブルで純水が抜けたりして、その都度坑内の水を入れトリガーレートが上がるということを経験した。1986年頃まではこのようなことを頻繁に行っていたと記憶している。その後水槽中の純水の純度が上がるとともにバクテリアの問題はいつの間にか消えていった。この間の純水装置の改造なども鈴木厚人先生が中心的に行っていた。

カミオカンデ-IIのデータ解析

梶田は1986年3月にカミオカンデ-Iにおける核子が反ニュートリノと中間子に崩壊する核子崩壊の探索で博士号を得た。学術振興会のポスドクには不採用で、どうしたらよいかと困っていたら、小柴先生から素粒子センターの助手で1年間だけ雇ってもらえると言われた。結局1年では職が見つからず、もう1年、合計2年雇ってもらった。(その後1988年4月に宇宙線研究所の助手に採用していただいた。) OPAL実験の準備で忙しいなか、2年目も雇ってくれた小柴先生、折戸周治先生をはじめとする素粒子センターの皆様には深く感謝している。

この2年間でOPALの準備の手伝いのために、2、3ヶ月のCERNへの出張が3回あった。1985年後半は博士論文を書いていたと云うこともあって、1985年から1987年頃にかけてはカミオカンデ-IIの準備や初期の頃の全体の改造工事のことは上記に書いた程度しか書けない。最後に少しだけ大気ニュートリノの解析のことを書いておきたい。

カミオカンデのデータ解析を始めた割合初期の頃から、観測されたチェレンコ

フリングが電子やガンマ線など電磁シャワーによるものか、ミューオンやパイ中間子など電磁シャワーを作らない粒子によるものかを分けるプログラムはあった。ただ、陽子崩壊のような多重のチェレンコフリングが観測されている事象の解析では、非常に限られた場合にしか粒子識別ができず、また使えるか否かの判定条件もあまり納得のいくほど明らかではなかった。博士論文では当時のプログラムを使って解析して結果を得たものの、カミオカンデ-IIになる機会に、もっと納得のいく粒子識別にしたいと考えていた。また粒子の発生点の決定なども TDC が入ることで断然よくなると思っていた。

そこで、博士論文を提出した直後の 1986 年の 1、2 月頃から事象解析プログラムの改造を始めた。まず粒子の発生点を TDC データを使って求めるプログラムを書いた。このとき、粒子がミューオンであろうと電子であろうと粒子の種類によらず粒子発生点を求めることを一つの目標にした。これが可能になれば、 $p < 300\text{MeV}/c$ くらいなら、チェレンコフ光の opening angle を使うことで粒子の識別に関して、イベントのパターンと独立な情報を得ることが可能になるはずとの思いがあった。

その後、光電子増倍管 1 本ずつについて multi-ring 事象の各リングの光量の寄与を分けるプログラムの改良を行った。これは元々有坂さんが書いたもので、これは当時の私には画期的と思へるようなコンセプトで作られていた。非常に良いものであったのだけれども、各光電子増倍管で受けた光子数が少ない場合の統計の扱いと、総てを電子型のチェレンコフ光と仮定している部分が不十分と感じられたので、有坂さんのもともとのアイデアは生かして、上記の 2 点について改良した。この改良では粒子の種類によらず、それぞれの粒子の放出するチェレンコフ光を分けられるようにすることを念頭におき、いずれそれぞれのリングについて粒子の識別が可能にしたいとの考えがあった。

上記の改良に引き続いて粒子識別のプログラムを書いた。1986 年 10 月頃であった。multi-ring 事象について電子型の確率とミュー型の確率を計算し、またほとんど分離ができない場合にはその確率がほぼ 50% ずつを与えるようなプログラムになることを目指した。つまり周りのリングと大きく overlap していれば粒子識別は難しいので自動的に 50% に近くなって、どちらとも言えないという結果になるように設計した。

上記の粒子識別の一番簡単な場合がチェレンコフ光のリングが 1 つの場合である。この場合はリングの overlap などの面倒なことがないので、純粹に粒子識別

のプログラムの確認ができる。まずは1リング事象について既に観測されていた大気ニュートリノのデータに粒子識別をかけてみた。モンテカルロによれば大体98%は正しい答えが得られる筈であった。しかし、その結果はモンテカルロの予想と違ってミュオン数の数が有意に足りないというものであった。たぶん1986年の10月から11月の頃だと思う。

最初は、モンテカルロと現実の測定器が大きく違い、モンテカルロではうまく働く粒子識別がデータでは働かず、データでは多くのミュオン事象が電子事象として認識されてしまったのだろうかなどと思った。しかし、確認のためデータのイベント・ディスプレイを目で見て、これは粒子識別のプログラムの問題ではないと確信した。

前後関係は忘れたが、宇宙線のミュオンと、そのミュオンが止まり崩壊して生成された電子を使って粒子識別を行い、同じ条件でつくったモンテカルロ事象での粒子識別の結果と比べるとことでも、粒子識別プログラムに問題はないことは確認はできた。

実は既にカミオカンデ-Iの時代から1リング事象中で $\mu \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ 崩壊の電子の観測数が少ないという問題があることは我々の間では認識されていたが、その理由はわからないままであった。この問題は1リング事象中のミュオン事象が少ないことを受け入れれば問題なく解決することがすぐにわかった。

データ・リダクション後のデータ中のミュオン事象が少ないことはわかったもののデータ・リダクション等に何か問題があつてミュオン事象が落ちている可能性があるので、様々なチェックをその後1年くらいかけて瀧田君と行った。結局はデータ・リダクション、その他に問題は見つからず、論文を書くことになった。データ解析その他に問題がないとなれば可能性としてニュートリノ振動などは自然に考えられる。しかしこの時点ではニュートリノ振動のパラメータ領域などを記載することについては合意が得られず、その可能性を指摘するにとどめることになった。この論文を書くにあたって小柴先生と戸塚先生には強いサポートをいただいた。この論文は1988年の初めに投稿され、4月に出版された。

そもそもカミオカンデ-IIで行ったソフトの一連の改良は陽子崩壊の解析の改良を目指したもので、改良された陽子崩壊の解析は1989年に論文とした。カミオカンデ-IIのデータ解析では他に超新星ニュートリノや太陽ニュートリノがあるが、これらについては他の人に書いてもらうのが適当だと思うので割愛する。