

重イオン研究からハイパー核研究へ

永江 知文

京都大学大学院理学研究科

今ではハイパー核研究の専門家になってしまった私ですが、これに繋がることになったバークレーでの重イオン反応の研究と、そこでの杉本健三先生や橋本治さんとの出会い、SKS スペクトロメーター建設当初の昔話を振り返ってみました。

1. バークレーでの3ヶ月

今から思えば随分昔のことになってしまいました。私が東京大学の大学院の博士課程の大学院生であった頃(~1984年)、当時、私は中井浩二先生を指導教官としていましたが、バークレーから戻られた永宮正治先生と三明康郎さんから、Bevalac で一番重い原子核ビームを使った La+La 衝突の実験をやるから参加しないかという誘いを受けました。ビザの関係から3ヶ月の予定でバークレーへと旅立ちました。私にとっては、生まれて初めての海外旅行でもあり、不安と期待に胸を膨らませて出かけたのを記憶しています。

1.1. E733 実験

この実験の参加者で、実験エリアで撮影した懐かしい写真があります(図1)。前列、一番左が杉本先生、次いで、この実験の責任者だった橋本治さん、谷畑さん、浜垣さん、林茂広君、山川さんが並んでいます。後列、左から2番目が米国側のリーダーだったリー・シュレーダーさん、その次が私です。後列、右から2番目が学生だったジャック・ミラー氏です。



図1 E733 実験メンバー

私が実験準備段階でバークレーに乗り込んだ段階では、向こうには、橋本さん、谷畑さん、山川さん、小林俊雄さんらがおられました。名大の大学院生だった山川さんらは、あの有名な ^{11}Li に関する実験の準備を進めているところでした。浜垣さんは、E733 と ^{11}Li 実験準備の両方を兼ねて、僕の後からやってきました。林君は、東大での永宮さんの最初の大学院生で、当時まだ修士課程に入ったばかり、実験が始まる前にやってくれました。

杉本先生は、核研の所長を定年退職されたところで、バークレーの海岸近くに購入されたコン

ドミニアムにやってこられ、滞在を楽しまれました。ランチの後で、打ち合わせ部屋でコーヒーを飲みながらよく談笑しました。杉本先生もいろいろな昔話をされたのですが、今でもよく覚えているのが、阪大の研究室に入って来た大学院生に、「まず、大根でもいいからスパッと切ってみせるこっちゃ。」と、よく言って聞かせたものだとおっしゃっていたのを思い出します。「新入りの大学院生は、頭でっかちでいかん。『そんなもん切れるに決まっている。』といって切ろうとしない。やらせてみると、ガクガクという切り口になってしまふんだ。」というようなことを、実験研究の進め方の例え話として話しておいででした。私も、自分が指導するようになった大学院生に今でもよくこの話しを聞かせています。

横長で両読みのシンチレーターの2本の光電子増倍管のゲイン調整（図2にあるG3カウンタのこと）を、その前面にあるMWPCの位置情報を使ってやっているというレポートをしているところに、スタンフォードのハンナさんを訪問するために立ち寄られた阪大の南園先生がいらっしゃいました。杉本先生が、「最近の若い人は、こうやってゲイン調整をやるんやで。勉強せにやーいかんな。」といって褒められたのを覚えています。

また、こんなこともありました。ある日、杉本先生のコンドミニアムで、ロブスターの調理の仕方を教えてやるから、ロブスターを買ってこいということになりました。浜垣さん、林君と3人で、スーパーでロブスターを買っていって、ぱっさりと調理したのを思い出します。他にも、アイリッシュコーヒーを教えてやるとおっしゃって、バークレーの旧鉄道駅のレストランに連れて行ってもらいました。

私の熊本の実家の玄関に、今でもアメフトのボールくらいの大きさの松ぼっくりがあります。どういう経緯で入手したのかは忘れてしまったのですが、杉本先生が、日本の検疫でひっかかるといけないから熱湯をかけて種の部分をよく振り落としておけば大丈夫だと教えてもらったことを記憶しています。おかげで無事持ち帰れたようです。

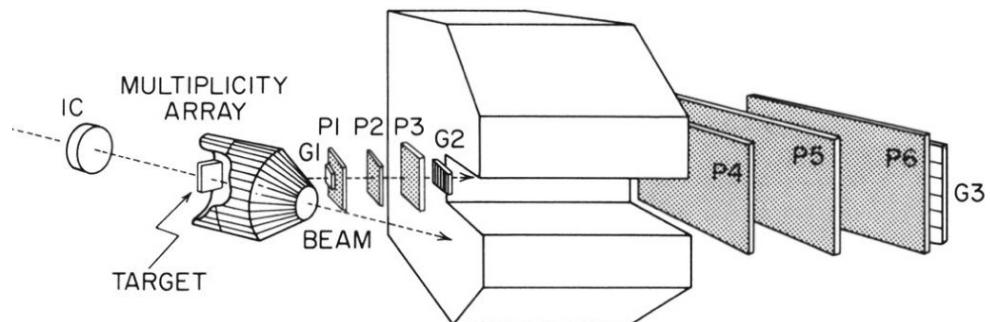


図2 E733 実験のセットアップ [1]

E733 実験は無事成功し、林君が、[1]として結果をまとめてくれました。この論文が出版された1988年時点で、既に、重イオン研究の舞台は LBL から BNL へと移り変わり、永宮さんはコロンビア大学へ、三明さんは BNL へ、谷畑さんは理研へ、小林さんは KEK へと所属が変わり、私も林君も核研へ移っていることに驚かされます。

2. 橋本さんとの出会い

橋本治さんとは、この E733 実験のためにバークレーでお会いするのが初めてでした。サンフランシスコの空港で出迎えてくれました。橋本さんの家にも何度かお呼ばれしてご馳走になりました。BART に乗って訪れたのを思い出します。DOE のヘンドリーさんや、LBL の Nuclear Science Division Head に新任でやってきたジェームズ・サイモンズさん達を囲んでのパーティーだったよう思います。E733 実験の準備には、MWPC の読み出し回路の調整や PDP-11 のオンライン DAQ システムの調整などに苦労しましたが、橋本さんに相談するとたちまち解決してくれました。

橋本さんは、この後、日本に戻られて、核研の中間エネルギー部で新しい研究計画を立ち上げることとなりました。そのなかで、橋本さんは、筑波の高エネルギー物理学研究所(KEK)の 12 GeV 陽子シンクロトロン(12 GeV PS)でのハイパー核研究に取り組むこととなりました。この頃、KEK ではトристアン計画が始まって、高エネルギー物理の研究者が 12 GeV PS からトристアンへと移っていくという流れがあり、山崎先生、中井先生、江尻先生達を中心に、この 12 GeV PS を原子核実験に利用しようという時期にありました。米国にはブルックヘブン国立研究所(BNL)に AGS 加速器があり、陽子ビーム強度のみならず加速エネルギーに倍以上の差があったため、K⁻中間子ビームを使う実験において、その強度で勝負するには 2 衝近いハンディキャップが存在しました。そこで、12 GeV PS では、静止(K⁻, π)反応と、(π⁺, K⁺)反応という 2 方面から研究を進めるという方針が採されました。前者は、非常に高い確率で Λ や Σ というハイペロンの生成が起きるので、パルス当たり 10³⁻⁴ 程度の K⁻ビームでも高統計のデータが得られます。一方、バックグラウンドが多いというデメリットもあります。後者は、1987 年の京都で開かれた PANIC 国際会議において BNL のチームが ⁹_ΛBe から ⁸⁹_ΛY までの広い範囲にわたる Λ ハイパー核の一粒子軌道のきれいなスペクトルの取得に成功したことを発表して、その有効性が注目されたところでした。ハイパー核分光を行うためのキーとなるエネルギー分解能を上げるには、入射 π ビームを粒子毎に運動量解析を行う必要があります。そのための飛跡検出器（ワイヤーチェンバーが主流だった）の検出能力の上限により使えるビーム強度が制限されるので、KEK PS の弱い陽子ビームでも十分な π ビーム強度が得られます。散乱粒子の測定器が勝負でした。橋本さんは、超伝導 K 中間子スペクトロメーター(SKS)を提案され、(π⁺, K⁺)反応分光を目指しました。

3. PIK スペクトロメーターから SKS へ

SKS の建設には、約 3 億円の予算要求が必要でした。これを、東大核研の本間三郎さんを主任とする中間エネルギー部が担当することとなりました。しかし、この予算が認められるまでに、当面、KEK PS にある既存の双極型電磁石を利用して、まず(π⁺, K⁺)反応分光を開始してみようということになりました。そこで、大阪大学の江尻研チームと核研の中間エネルギー部が中心となって、これを進めることになりました。当時の阪大・江尻研には、江尻さんを筆頭に、柴田徳思さん、福田共和さん、大隅秀晃さんらがスタッフで、4-5 名の大学院生がいました。核研側は、橋本さんを中心として本間、小俣、吉川、名越さん、研究員の遠山君、技官の松山さん、山野井君他が参加しました。使用したスペクトロメーターは PIK スペクトロメーターと呼ばれ（図 3 参照）、立体角も小さく(15-22 msr)、偏向角も小さかった(40 度)ので運動量分解能も十分ではありませんでした。

せんでした(~5 MeV)。エネルギー分解能を上げる努力が、多くの阪大の大学院生や大隅さんのご尽力により試みられましたが、やはりあり合わせの電磁石を再利用して使っているため限界がありました。江尻さんを囲んで、夕方から夜の2時過ぎまで何度も議論をしたのが思い出されます。それでも、¹²C 標的と⁵⁶Fe 標的による(π^+, K^+)スペクトルの取得に成功し、束縛状態の観測ができました。私は、この最後の頃に核研中間エネルギー部の助手として赴任し、ハイパー核の研究に参加することとなりました。

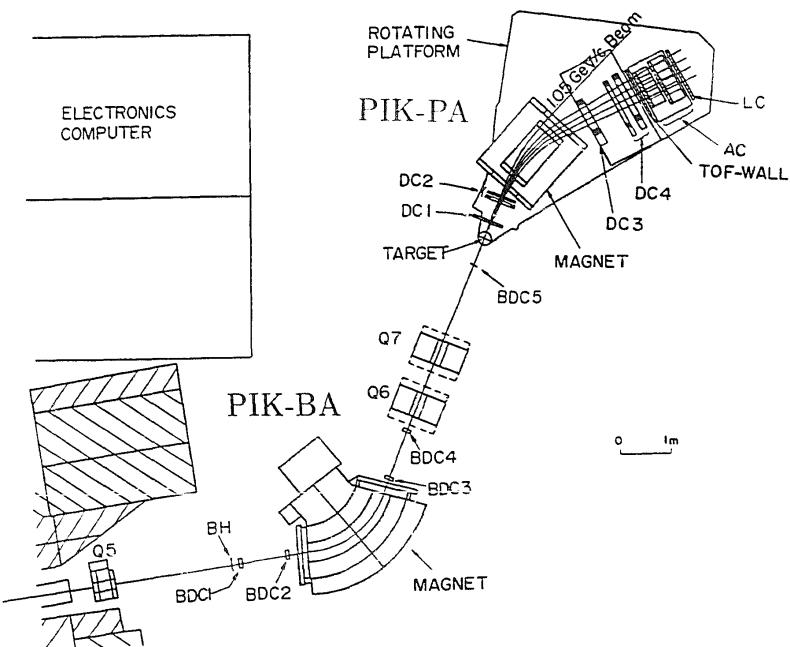


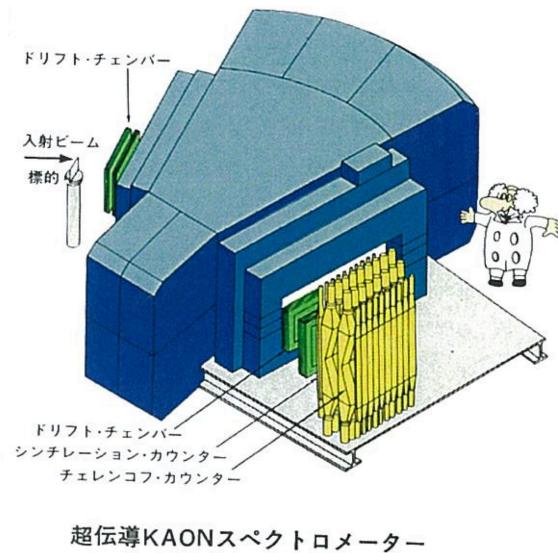
図3 K2 ビームラインに設置された PIK スペクトロメーター [2]

大学院を修了して1年あまり、次をどうしようかと迷っていた頃に、核研所長として本郷から移られた山崎敏光先生が、核研で「大型ハドロン計画」を推進するための助教授と助手を合わせて4名募集されました。私はこれに人生を懸けてみようと考えました。(阪大の福田さんも助教授として同時に核研に異動してこられました。) プロジェクトの推進と合わせて、研究テーマを考えなければいけないので、そこでお世話になろうと思ったのが、バークレーで面倒を見てもらった橋本さんでした。ちょうど、SKS の概算要求が認められようとしており、新しいスペクトロメーターと検出器系の建設が始まろうという絶好の時期でした。

SKS スペクトロメーターは、PIK スペクトロメーターでの苦労をもとに大きな改善を計ろうというものでした。運動量分解能として 1/1000 を目標性能として掲げ、当初のエネルギー分解能として 2 MeV(FWHM)を目指しました。BNL AGS にあった磁気スペクトロメーター Moby-Dick のエネルギー分解能が約 3 MeV だったので、これを上回ろうという訳です。また、スペクトロメーターがカバーする立体角を 100 msr とすることで、(π^+, K^+)反応の収量においても一桁近く上回ることができます。立体角については、SKS 超伝導磁石のギャップを 50 cm と広げ、大型の飛跡検出器を使うことで割とストレートに実現できます。最大の問題は、PIK スペクトロメーターで苦しんだ運動量分解能をいかにして達成するかでした。ここで橋本さんが採られた

SKS の設計方針は、バークレーの重イオン反応用に建設した HISS スペクトロメーターを参考にするもので、磁場分布を精密に実測することにより運動量分解能を達成しようというものでした。

図 4 には、当時のなつかしい SKS の概念図があります。橋本さんと山野井さんとで作成されたものです。当初、ビームは SKS の左側から入って右側に抜けるよう考えられていたことがわかります。ある日、橋本さんがやってこられて、突然向きを変えようとおっしゃったと記憶しています。



超伝導KAONスペクトロメーター

図 4 SKS の当初のセットアップ概念図

SKS の目標とする運動量分解能の実現は、なかなかの難題でした。当時、核研の橋本さんの大学院生であった長谷川智之君と私が中心となってこれに取り組みました。いろいろとシミュレーションをやってみると、様々な較正を行った後に、磁場測定を行った座標原点と、実際の電磁石の座標原点との系統的なずれが、運動量分解能を大きく支配するということがわかつてきました。これを実現するための 3 次元の磁場測定装置が必要となり、核研の森本さんと宮地さんの協力を得てこれを製作しました。最終的には、7 つの電流モードに対して、延べ百万点の磁場分布を測定しましたが、これを 1.5 ヶ月の短い期間で、高精度測定を行えたのが、SKS の成功へと結びついたと思います。もう 2 度とこんな測定はできないだろうと感じました。

ビームラインの飛跡検出器系は、松山さんのお家芸の高速ドリフトチェンバーが活躍しました。大型ドリフトチェンバーは、関本さんが作ってくれました。お陰で、1/1000 という運動量分解能は、あまり苦労することなく達成できました。チェンバーの位置合わせ等、相当頑張らねばならないかと思っていたのですが、割とあっさりいったのを記憶しています。SKS では、その当時流行し始めていた Unix OS が走る高速 RISC プロセッサを導入することにより、オンライン解析能力をオフライン解析並に向上させるということも試みました。こういうことを実際の本実験でやったのは日本で最初だったと思います。SKS の運動量解析をオンラインで実現しようと試みました。当時、この方式を On-line Software Spectrometer と名付けていました。やってみてわかったの

は、飛跡ドリフトチェンバー系の解析パラメーターの較正が大変で、なかなかオンラインで較正できないということでした。これについては、大分後になってから高橋俊行君が、その較正を自動化してくれて、実現に漕ぎ着けました。

SKS の超伝導電磁石の建設に関しては、KEK が全面的にバックアップしてくれることになりました。超伝導の専門家として KEK の新富さん、楳田さんに協力していただき、液化ヘリウムの冷凍システムについては、KEK の土井さん、青木さん、近藤さんのお世話になりました。核研からは、北見さんが小型冷凍機を担当してくれました。

SKS は、今も J-PARC で現役のスペクトロメーターとして活躍しています。1992 年から 20 年以上も頑張ってくれていることになります。

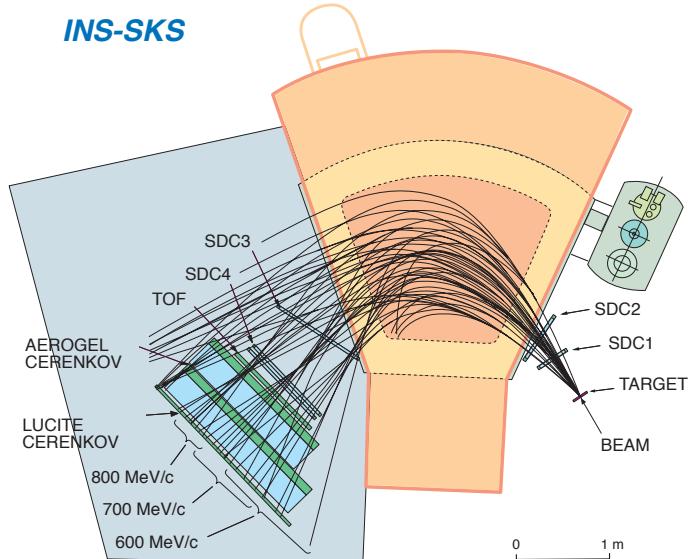


図 5 SKS スペクトロメーター [3]

4. まとめ

以上、私が初めて海外での実験を経験したバークレーでの重イオン反応の実験(E733)での思い出に始まり、そこで出会った橋本さんとのSKS建設までの苦労話を振り返りました。杉本先生とは、ほんの数週間のバークレーでのお付き合いでしたが、印象深い思い出となって私の心に残っています。研究に厳しい先生という噂を聞いていましたが、現役を退かれ、終始にこやかでいらっしゃったのが印象的でした。

参考文献

- [1] S. Hayashi *et al.*: Phys. Rev. C 38 (1988) 1229-1241.
- [2] M. Akei *et al.*: Nucl. Instr. Meth. A 283 (1989) 46-56.
- [3] T. Fukuda *et al.*: Nucl. Instr. Meth. A 361 (1995) 485-496.