

ハイペロン・核子相互作用

中井浩二、佐藤朗、ほか東京理科大グループ[1]

「ニューマトロン計画」は、低エネルギー原子核研究から脱皮して中高エネルギーにおける原子核研究に風を興し新しい展開を目指すものであった。競合する高エネルギー研究グループの「トリスタン計画」に GO サインがでた時「ニューマトロン計画」は没になってしまった。その結果、高エネルギー重イオン加速器開発は迂回路に入らざるを得なくなつたが、中高エネルギー物理の可能性が生まれた。KEK-PS である。わが国の高エネルギー研究の基地 KEK の 12-GeV 陽子シンクロトロン KEK-PS は多くの高エネルギー研究者を育ててきたが、トリスタン計画の推進に研究者が集中するため閉鎖するという考えが浮かんで来た。その動きに対し KEK-PS は原子核研究の新しい発展に重要な役割を果たすと考え、山崎・中井が KEK 所長の西川先生・高エネルギー委員会の委員長である藤井先生に運転の継続を強く希望し、閉鎖を回避することができた。

「ニューマトロン計画」の提唱は、それまでに熱中して来た低エネルギー核物理学を冷静に反省し、これから進めようとする核物理学の展望を厳しく検討する機会であった。

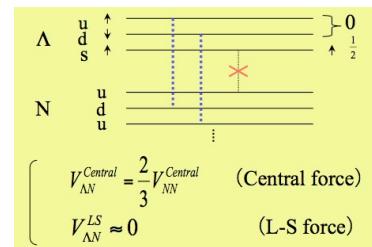
「核モーメントと核構造」の国際会議を成功させ、わが国の原子核研究の国際的地位が高まつたところで次の世代の計画を話していた時杉本先生が核構造研究について「これまで原子核の理解は進んだと言っても原子核の形とか運動とか或は表面のことばかりではないか」と言われたことがあった。低エネルギーでは、原子核の液滴モデルが成功するように核物質は非圧縮性の流体であり、また核内核子のフェルミ運動より遅い現象を扱っていて、そこではパウリ原理が働くおかげで全ての現象が奇麗に見える（私は Pauli cosmetics と呼んだことがある）。要するに核の外観は良く見えてもそれを構成する核物質については何も解っていない。そこで、核内核子のフェルミ運動より早く原子核を衝突させて核物質の高密度状態を調べようということが動機であった。それには中高エネルギー領域に進出したいと考えたのであった。

閉鎖を免れた KEK-PS はトリスタン建設に伴う約 1 年間の休止期間を経た後再開された。再開後の原子核実験プログラムについて、重イオンビームを加速するか、 πK 中間子ビームによる従来型の実験を進めるなど厳しい議論を重ねたが、結局後者を選んで K-Decay 実験とハイパー核実験などを重点的に進めることになった。

ハイパー核実験は、素粒子・原子核の両分野に強い関心があった。ハイパー核の研究では Λ による深部核構造の探索、励起核構造の解析から導くハイペロン・核子相互作用の研究という興味あるテーマがあった。前者については永江君、後者については田村君による紹介がある。

その頃、ハイパー核研究のハイライトはハイペロン・核子相互作用について CERN における B.Povh 達の Heidelberg - Saclay グループの実験であった。この実験では (K^- , π^-) 反応で作った ${}^1\Lambda C^{12}$ と ${}^1\Lambda O^{16}$ 核の $K\pi$ スペクトルを分析し、 Λ と核子の間に働く LS 相互作用が弱いことを示した[2]。その結果に対し同じ Heidelberg の素粒子理論グループに属する H.Pirner と B.Povh が説明を与えた[3]。即ち、 Λ 粒子は(uds)

というクォーク構造でそのうち u と d のスピンは相殺し s が Λ のスピンを担っている。その Λ (uds) と原子核を構成している核子 N (陽子(uud) 或は中性子(udd)) との相互作用において s と d または u との相互が無いか弱いとすると Λ のスピンが関わる相互作用は 0 となる。このことは ΛN 相互作用のポテンシャル $V_{\Lambda N}$ が核子核子相互作用の場合の V_{NN} の $2/3$ になっているという実験事実をも良く説明する。



この Povh-Pirner の説明では Λ 粒子を構成するクォークのうち u と d のスピンが反平衡になっている ($I=0$) s クォークのスピンが $\Lambda((u_\uparrow d_\downarrow)_{I=0} s_\uparrow)_\uparrow$ のスピンを担っているからである。それならば Σ 粒子の場合は、 $\Sigma^+((u_\uparrow u_\downarrow s_\uparrow)_{I=0})_\uparrow$ 、 $\Sigma^0((u_\uparrow s_\downarrow)_{I=0} d_\uparrow)_\uparrow$ 、 $\Sigma^-((s_\uparrow d_\downarrow)_{I=0} u_\uparrow)_\uparrow \cdots$ などとなって、 u または d クォークがスピンを担うので大きな LS 相互作用が期待できる。

この理論的予想に応えて、B.Povh 達の Heidelberg グループは Λ ハイパー核の場合と同じ考え方(K, π)反応による Σ ハイパー核生成実験を CERN で始めた。しかし、実験は容易でなかった。その上、不幸なことに CERN では LEP 計画を始めるため K 中間子ビームを止めることになった。その時に合わせるように KEK でハイパー核実験を始めようとしていたので Povh の Heidelberg グループと東大山崎グループの KEK 共同実験の機運が生まれた。ハイパー核の実験に豊かな経験を持つグループと組む国際共同実験が KEK における原子核実験の開幕になると喜んだ。しかし、CERN の 30GeV 陽子ビームによる K ビームに比べ 12GeV の KEK-PS によるビーム強度は弱く同じ実験は無理であった。その時、山崎さんが K ビームを全て標的内で止めて行う Stopped-K ビーム法の使用を提案された。CERN や BNL に比べてはるかに後発で陽子ビームのエネルギーも低い KEK-PS で実験を始めるにはいろいろな工夫が必要であった。

Stopped-K 法の使用は妙案であった。KEK-PS のハンディキャップを吹き飛ばすような勢いであった。この他に(π, K)反応法も名案であった。 K ビームでは弱くて競争にならないが π ビームでは負けないので KEK-PS にとって必須の方法であった。測定器の開発にも力を入れて CERN や BNL に負けないように頑張った。それに KEK-PS のハイパー核研究には坂東・元場・矢崎・岡・・・理論物理グループの強力なサポートがあったことを明記しておきたい。

残念なことに、しかしながら、 Σ ハイパー核の生成は極めて限られていることが解った[4]。 $\Sigma - \Lambda$ 変換のため Σ の波動関数が核の外の方に押し出されるケースでのみ Σ ハイパー核が観測できるという理論的説明も原田・赤石によって報告され決定的と理解された。 ${}^4\text{He}$ だけが唯一観測された Σ ハイパー核であった[5]。

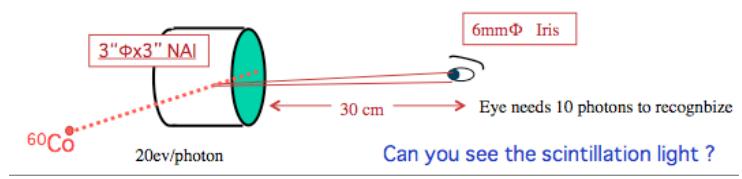
折角、KEK に来て日本の研究グループを育ててもらった Heidelberg グループの Povh さんをはじめ、T.Walcher, S.Paul, W.Bruckner・・・らの皆さんには努力が実らない結果となり残念に思われたことと思い申し訳なく感じたが KEK-PS のハイパー核研究の始点においていろいろ学んだことは大変大きかった。深く感謝している。

一方東大グループでは、この Σ ハイパー核 ${}^4\text{He}$ の発見と同時に液体ヘリウム中の K -中間子吸収に遅発成分があることに気づき、さらに反陽子についても調べるうち、反陽子ヘリウム原子(Atomucle)の発見へつながった。続いて早野らによる反陽子原子の新しい研究が逆に CERN で開花した。KEK では、おかげでハイパー核研究が大きく育った。

KEK におけるハイパー核プログラムは、理論グループの強力なバックアップにも助けられていつしか世界の中心的位置に達した。誇らしい思いであった。しかし、KEK を停年退職して東京理科大に移ってからも、やはり ΣN 相互作用のことが心残りであった。

或る日のこと、バンクーバーで開かれた国際ワークショップでハイペロン散乱実験計画について討論していたときに KEK で京大・名大・KEK グループが開発していたシンチレーションファイバー(SCIFI)検出器を紹介し標的兼用の飛跡検出器として用いる考えを話したところ、TRIUMF の Measday に「何故シンチレーターの中の飛跡を直接見ないのか?」と質問され答に詰まってしまった。

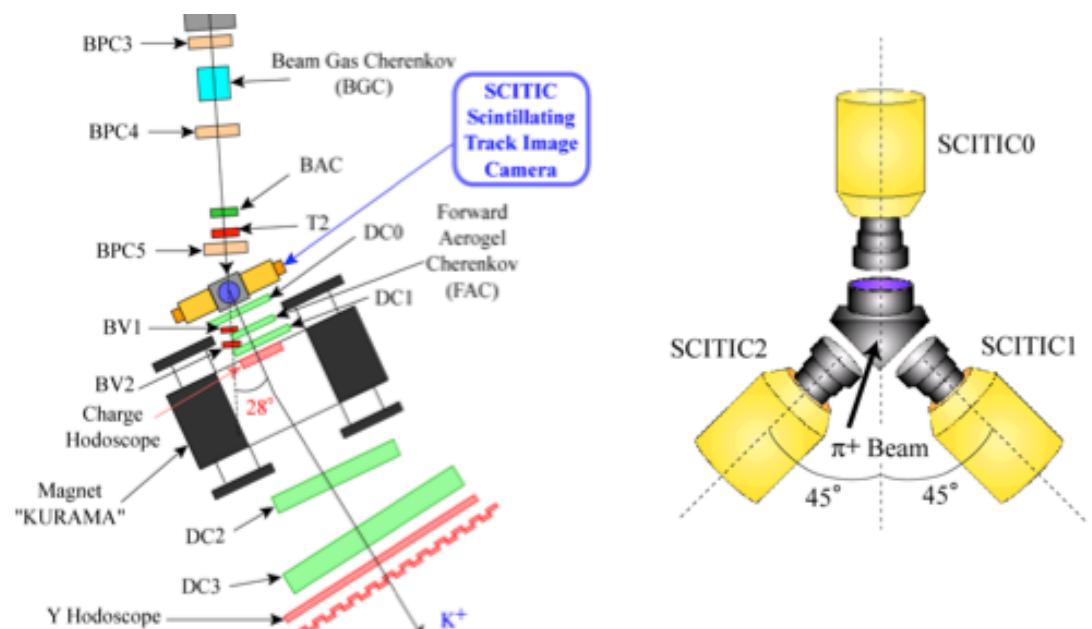
帰国後理科大で学生諸君と論じあっていろいろ調べたが楽しい演習であった。先ず NaI(Tl) の発光効率は 20eV/光子、それが明視の距離 30cm 離れた位置にある人の瞳



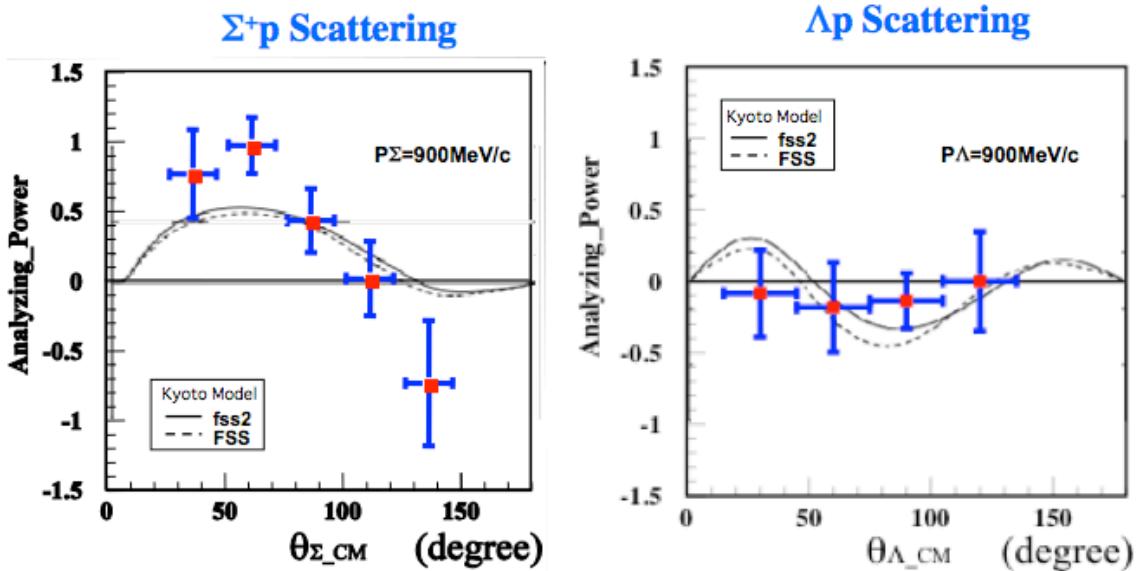
6mmΦに入る立体角を求める。人の目が認識する限界は光子 10 個だそうである。直径 3 インチ x 高さ 3 インチの NaI(Tl)に ^{60}Co の γ 線が入射した時の二次電子の飛跡を目で見ることが出来るか? という問題を彼らに与え、実際に暗室で実験したところ、見えると言つた学生が約半数であった。60 歳を過ぎた私には無理であった。個人差の大きく出る実験であった。

それはともかく、東京理科大ではレンズ系によりイメージ・インテンシファイヤー IIT に結像して画像を撮るシステムを開発した[6]。このシステムは SCITIC (SCIllillation Track Image Camera) と名付けられた。ハイペロン生成の標的は H でなければならぬから液体シンチレーターを使う。そのため発光量が NaI(Tl)よりも少なく、レンズ系の設計が重要で、明るさと焦点深度が相反する条件の下で最適化が必要であった。

ハイペロン Σ^+ は 1.6 GeV の π^+ を SCITIC の液体シンチレーターに入射して $p(\pi^+, K^+) \Sigma^+$ 反応で造った。この時同時に Λ も C に含まれる中性子 n から準自由過程 $n(\pi^+, K^+) \Lambda$ で造られた。それぞれの過程とそれに続く散乱過程は図のように撮像された。本来の過程による発光の反射等によるバックグラウンドの光点がみられる。これを無くすることに努力が重ねられた。



Analyzing Power



シンチレーター中の画像は3つのカメラで撮影され立体像に組みあげて解析された[7]。
 $p(\pi^+, K^+) \Sigma^+$ 反応による Σ^+ の偏極 P の解析結果は既存のデータと良く一致した。その上で散乱した Σ^+ の偏極 P' を求めて得たAnalyzing PowerはPovh-Pirnerの予想通りであった。図には京大藤原グループによるクォークベースのFSSモデルの計算結果⁸⁾を示した。同時に求めた Λ の結果も予想どおりであった。画像解析には、黒沢君による多大の努力があつたが統計が良くないのでその点は不満足な結果に終わっている。しかし、ハイペロンのスピニ構造に関するPovh-PirnerのQCDに基づく説明を支持する結果となった。

文献

- [1] 東京理科大グループ、門脇徹、岩田宗磨、浅井淳吉
- [2] W.Bruckner et al., Phys. Lett. **79B** 157 (1978)
- [3] H.J. Pirner and B.Povh, Phys.Lett. **114B** 308 (1982)
- [4] R.S. Hayano et al., Nucl. Phys. **A478** 113c(1988)
- [5] R.S. Hayano et al., Phys. Lett. **231B** 355 (1989)a
- [6] A. Sato(TUS-PN0011), T. Kadokawa, Thesis
- [7] J. Asai(TUS-PN-0310), M.Kurosawa, Thesis
- [8] Y. Fujiwara et al., Phys. Rev. **C54** 2180 (1996)