

連続講義（第2回）

高塚龍之（岩手大学名誉教授）

前回の講義（第1回、1月10日）のアブストラクトで触れたように、この連続講義「バリオン物質と中性子星」の目的は筆者自身に取り組んできた「超流動」「 π 凝縮」「Y混在」の問題を中心に議論し、これらの相が中性子星現象にどう絡むかについて考えることである。第1回では中性子星物理の導入部を経て「超流動」の問題を議論した。今回（第2回）では「 π 凝縮」問題を採り上げる。

π 中間子は湯川中間子としてなじみの深いもので、核力の外側領域（ $r > 2\text{fm}$ ）は1個の π 交換による核力ポテンシャル（OPEP）で与えられることはよく知られている。従って、核物質はnとpそれに π から成るといふ人もいる。しかし、フェルミガス基底で記述される通常の核物質ではOPEPの摂動1次の効果は互いに打ち消しあって全体としては寄与しない。つまり、核物質中での π 場の期待値 $\langle \phi \rangle$ はゼロであり、 π がnやpと対等な構成成分とは言い難い。 π はOPEPをとり持ついわば裏方の役割を担っているのに過ぎないのである。では π 自らがnやpと同等に表舞台に登場することはあるのだろうか。 π の静止質量は $m_\pi = 140\text{MeV}$ だから中性子星物質中でnとpの化学ポテンシャルの差が m_π を超えれば $n \rightarrow p + \pi^-$ がエネルギー的に可能となり、 π^- がゼロ運動量（ $\mathbf{k} = 0$ ）にボーズ凝縮する可能性は考えられる。しかし、実際上は $\mathbf{k} = 0$ の π は $\pi-N$ S波相互作用の強い斥力効果をうけ、この効果が密度増加とともに大きくなるため、基底状態に π^- があらわに登場することはない。

1970年代になって、事情は一転した。ブレイクスルーがMigdal、そして独立にSawyerとScalapinoによって提起されたからである。 π 凝縮という新たな核物質像が話題をよび、それ以降、核物理の中心テーマの1つになっていった。彼らは $\pi-N$ P波相互作用（いわゆる $\boldsymbol{\sigma} \cdot \boldsymbol{\nabla}$ または $\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{k}$ 結合）の強い引力性に着目し、これによる引力利得が π の顕在化に係わる損失を上回ることにより、 π が基底状態に有限運動量（ $\mathbf{k} \neq 0$ ）でコヒーレントにあらわれること、即ち $\langle \phi \rangle \neq 0$ を指摘した。しかし、ここで留意すべき重要なことがある。 π 凝縮発現に至る過程（instabilityや発現密度）の議論では、核媒質中での π の伝播関数の特異点という発想での議論が可能だが、 $\boldsymbol{\sigma} \cdot \boldsymbol{\nabla}$ という強相互作用系であるが故に、 π 凝縮発現後は核子系の構造変化を必然的に伴い、これらが無撞着的に扱わねばならないからである。 π^0 凝縮の場合、(i)凝縮 π^0 場は核子場に対し周期的一体場を提供する、(ii)核子系は局在化とスピン-アイソスピン秩序を伴う構造変化をうける。(iii)この新秩序相がもとの π^0 凝縮の源を用意する、という相互規定的関係が特に重要である。こうした観点での研究は筆者を含む京都グループによって集中的になされ、 π^0 凝縮-核子系構造変化に照応するモデル（交代的層状スピン構造（ALS）モデル）が提唱された。 π^0 凝縮下の核子系の構造と1粒子基底を具体的に与えているが故に、 π 凝縮の物理的意味、荷電中間子凝縮との共存や中性子星現象との関連を議論する上でこのモデルの有用性は高い。

本講義では、まず、ALSモデル提示に至った歴史とこのモデルにもとづく π 凝縮発現問

題を論じ、 π 凝縮相の特質 = 「EOS の強いソフト化と速い冷却機構」に着目して、中性子星現象との関連を考える：

- (1) OPEP テンソル力と核子系の“固化”
- (2) ALS モデルの提示と π^0 凝縮
- (3) 荷電 π^c 凝縮、 $\pi^0\pi^c$ 共存凝縮
- (4) π 凝縮と中性子星の冷却
- (5) π 凝縮に基づくパルサーグリッチのモデル