

早稲田大学理工学研究所

「核物理研究室」

(早稲田大学理工学研究所) 橋 孝博

早稲田大学には、学部や大学院とは別に文科系・理科系合わせて八つの研究機関があるが、当研究室が所属する理工学研究所もその中のひとつである。とは言うものの、当研究室は理工学部の建物の中に部屋があり、学部の学生も所属しているので、別な組織という感じはあまりしない。近ごろ早稲田大学は新校舎の建設に熱心だが、理工関係の新しい建物も建造中で、我々も二年後にはそこに引っ越す予定になっている。研究室のメンバーは山田勝美教授の他に、兼任研究員橋孝博、博士課程の学生2名、修士課程4名、学部4年生2名が所属している。他に特別研究員や嘱託も数人名を連ねている。以前は一時期女性秘書が居たが、いま、その方は本誌元編集委員の吉田正氏夫人である。(吉田氏も我々の研究室出身者。)残念ながら、それ以降なぜか秘書はいない。また、学内で当研究室は通称「山田研」と呼ばれているが、実は正式名を知らない。事務所に尋ねたのだがよくわからず、結局、部屋の前に掛かっている表札名で良からうということになり、表題にはそれを使った。だから表題の研究室名は正確なものではないかも知れない。

さて、本題の研究内容の紹介に入ろう。当研究室では、毎年4月に表Iのように、その年の研究計画が提案される。二重線で囲まれた項目を最重点テーマとし、次が一重線、余裕があればやろうというテーマが点線で囲まれている。しかし予定通りに行かないのは世の常で、なかなか進まない二重線や、ときには精力的に進められる点線もある。一見してわかるように、研究内容は多岐に亘っているが、主なものをいくつか説明しよう。

まず、表Iの上段は多体問題である。これは、原子核を第一原理から出発して研究しようとするもので、クラスター変分法を用いて研究が進められている。主には核物質や中性子物質を対象とするが、具体的な実験値があるという意味で液体ヘリウムも扱われる。多体系のハミルトニアンからエネルギー期待値を計算するとき、独立粒子的波動関数を用いると核力が持つ強い斥力コアのために、一核子当りのエネルギー期待値は正の無限大に発散する。そこで、核子間の相関を取り入れたJastrow形の波動関数を用い、さらに山田らにより初めて考案されたクラスター展開法でエネルギー期待値を展開する。しかし、展開された項を総て計算するのは不可能なので、その後の計算技法にはいくつかの選択がある。当研究室では、二体分布関数や構造関数が満たすべき条件を重視している。近似計算でもその条件を満たさなければならないというわけである。これまでは二体クラスター近似の単純な条件付変分法などで計算を行ってきたが、結果は、例えば、対称核物質では実験値(半経験的質量公式の体積項の係数)より低いエネルギー期待値を与えてしまう。そこで現在は上記の条件を自動的に満たすエネルギー表式を導出して計算を進めている。このク

クラスター変分法は有限温度の多体系にまで拡張され、進化した星の状態方程式の研究などに応用されている。クラスター変分法による量子力学的多体問題の研究は30年以上の歴史があるが、現在でも当研究室で最も力を入れている分野で、ほとんどの学生が研究テーマにしている。

次に表Iの中段に移ろう。ここのテーマは原子核の現象論的研究である。原子核の質量を求める質量公式は古くから研究されているが、我々もいろいろな立場から、いくつかの公式を発表してきた。その中には核の圧縮性を取り入れた質量公式もあり、巨大共鳴の研究などにも使われた。我々の質量公式は、主には、体積項、表面項、対称項、クーロン項、偶奇項などの和、つまり大局的部分と、核の個性が強い陽子・中性子殻項に分けて考え、各項に含まれるパラメータを実験値から決めていく。我々の公式も含めて、いろいろなグループの質量公式の最新版は Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 39(1988) にまとめられている。今後は殻モデル的計算も入れた質量公式や、システマティクスと質量公式を併用した研究を進めることを考えている。

Partly Frozen Liquid Drop モデルは、核の振動や回転、つまり集団運動を扱うモデルである。これは原子核が、丸くて堅い芯とその周りにある流体的部分から成り、その芯は部分的に融けて流体になり、また流体は凍って芯の一部になるというモデルである。例えば、変形核の回転に対して、従来の液滴モデルで渦無し流体を用いると、慣性モーメントが小さく出すぎるが、このモデルでは表面流体が回転するので慣性モーメントが大きくなる。このモデルで低エネルギーの表面振動や isoscalar E0 巨大共鳴などを研究している。

β 崩壊でもいくつかの研究がなされている。中でも β 崩壊の大局的理論は古くから研究されている。これは、一粒子の強度関数を考えて、その形を強度関数の総和則や(p, n)反応の実験を参考にして決める。この一粒子強度関数に核子密度を掛けて、パウリ原理を考慮して積分したものが原子核の β 崩壊強度関数となる。この理論は β 崩壊の平均的な性質をうまく表現できるが、核の個性を取入れることが今後の課題である。その他、強度関数のシステマティクスの研究もある。これを使うと、ある核Xの強度関数の実験値がない場合、N-Z平面上でその核Xの近隣に位置する別な核の強度関数の実験値から、核Xの強度関数を推定することができる。また核Xの実験値がある場合でもその不備を指摘できる可能性がある。

表Iの下段のテーマは原子力や天体物理への応用である。 β 崩壊の大局的理論が崩壊熱の計算に使われて成功したことは著しい成果であった。それ以外にも、進化した星の中では地球上の環境とはかけ離れた温度・密度になっており、そこでの β 崩壊に関してもいくつかの研究がある。また、中性子星の内殻では球形から大きくはずれた、円柱形、板形、円柱孔形、球孔形などの”原子核”が存在できるという、面白い研究も進めている。

以上が我々の研究内容の概略である。今後とも、皆様のご指導ご鞭撻をお願いしたい。

表I 1991年度の研究テーマ 1991. 4. 9

多 体 問 題 (クラスター変分法, 構造関数の条件も考慮した変分法)				
絶 対 零 度		有 限 温 度		場 の 理 論
boson	fermion		fermion	boson
計算テクニックの開発と ⁴ He	中心力	非中心力	pairingのあるときの formalism	核物質と中性子物質
	(³ He) 中性子物質	三体クラスター項の計算		
	対称核物質 非対称核物質	中性子物質	grand partition function	
	(strange matter)	核物質		
				介力系 引力系, ⁴ He
				(model field theory) と変分法 (QED と変分法) (QCD と変分法)

現 象 論 お よ び モ デ ル				
質量公式	Partly Frozen Liquid-Drop モデル	B 崩壊	核反応	核分裂
新殻項公式	低エネルギー現象	巨大共鳴	エネルギー準位密度	PFLDモデルと核分裂
システムティックスによる質量表	軸-回転対称モード	isoscalar 共鳴	(n, γ), (γ, n) 反応	multi-potential treatment
スピンのパリティ分離型公式	非対称モード	isovector 共鳴	大局的理論と殻効果	
asymmetric quartet 公式	core の変形	磁気的 巨大共鳴	Bβ 崩壊の行列要素	
hypernuclei を含む公式	p-n displacement		B 崩壊とハドロン、クォーク	
quark-gluon matter の質量公式			実用的な核反応計算法	

原 子 核 理 論 の 応 用			
天 体 物 理 へ の 応 用		重イオン反応	原子力への応用
ガス雲や天体の収縮	r-process	原子核と核反応の半古典的 微視的モデル	遅発中性子
天体核反応 ネットワークの整備	密度依存質量公式と中性子星		山 塊 熱
	円柱形や板形の "原子核" — 大局的性質と殻効果		