

話 題 (その V)

IAEA Consultants Meeting on the Use of Nuclear Theory in Neutron Data Evaluation に出席して

五十嵐 信一 (原研)

12月8日~12日にわたりイタリアのTriesteにある理論物理国際センター (ICTP) に
おいて上記の会議があり出席したので、その概略と会議のまとめとして出された IAEA への報告
案を主に紹介する。

この会議を開く理由として IAEA の核データ section (NDS) は次のように説明している。
FP とか actinide の核データは測定が困難であり、測定を待っていたのでは必要な核データの
要求に間に合わない。しかし、FP や actinide の核データは理論計算の推定でも十分使用に耐
え得る筈である。そこで、核データの評価に利用するという観点から核物理の理論の現状を見てみ
る必要がある。

会議では理論の改善とか計算コードの開発についての討論と recommendation をまとめた。
ここでは核データの評価を進めるうえで、理論の現状やコードの利用度を検討し、これらの利用促
進、特に発展途上国の科学技術者の便宜を計ることが大きな目的としてあげられた。

会議に提出され、発表された論文はここに示す 28 件の予定であったが、Ignatyuk が欠席した
ため 27 件になった。これらの提出論文はすべて発表されたので、かなりきついスケジュールであ
った。これらの論文のコピーは核データ研にあるので御利用いただきたい。又、資料紹介欄で紹介
することも提案しておきたい。

会議の主要な目的であるまとめと recommendation の文案作成は 6 つの working group に
分れて行われた。すなわち、

- WG1 General recommendation
- WG2 Statistical theory and reaction mechanisms
- WG3 Optical model
- WG4 Precompoundal reaction etc.
- WG5 Fission theory
- WG6 Computer codes

このうち WG2 は更に 3 つに分れて

- WG2 a Resonance and statistical theory
- WG2 b Capture mechanism
- WG2 c Level densities

そしてそれぞれのまとめと recommendation を出した。私は WG3 と WG6 に所属した。

working group の作業には前以って guide-line が示されていて、その線にそって作業
が進められた。ここでは各 working group からの文案の概略を紹介する。

IAEA Consultants Meeting

on

The Use of Nuclear Theory in Neutron Nuclear Data Evaluation

International Centre for Theoretical Physics, Trieste
8-12 December 1975

Preliminary list

of review and contributed papers

(participants underlined)

A. Review papers (RP)

RP 1a A. Prince

The role and use of nuclear theories and models in practical evaluation of neutron nuclear data needed for fission and fusion reactor design and other nuclear applications.

RP 1b M.K. Mehta

The role and importance of the use and development of applied nuclear theory and computer codes for neutron nuclear data evaluation in developing countries.

RP 2 P.A. Moldauer

Statistical theory of neutron nuclear reactions.

RP 3 G. Longo

Radiative capture of 5-20 MeV neutrons.

RP 4 A.V. Ignatyuk (欠席)

Theory and systematics of nuclear level densities as functions of A, E, J, Π (or 1).

RP 5 J. Salvy

The optical model with particular consideration of the coupled-channel optical model.

RP 6 D. Hermsdorf, A. Meister, S. Sassonov, D. Seeliger, K. Seidel
 Neutron emission spectra analysis with pre-equilibrium
 and equilibrium statistical theory.

RP 7 J.E. Lynn
 Fission theory and systematics of fission parameters.

B. Contributed papers (CP)

CP 1 K. Raschid, PINSTECH, Rawalpindi, Pakistan
 Contribution on the role and importance of applied
 nuclear theory in developing countries.

CP 2 G.M. Hale
 Systematics of multi-channel R-matrix theory evaluation
 of nuclear reaction cross sections of light elements.

CP 3 I. Bergqvist
 Photon strength functions.

CP 4 I. Rotter, H.W. Barz and J. Hoehn
 On threshold effects in the statistical distribution of
 neutron capture widths.

CP 5 H. Gruppelaar
 Uncertainty estimates of statistical theory calculations
 of neutron capture cross sections of fission products.

CP 6 A.S. Jensen
 Uncertainties and applications of the nuclear level
 density with inclusion of collective rotations.

CP 7 V.S. Ramamurthy, BARC Trombay, Bombay, India
 Contribution on the systematics of nuclear level densities.

- CP 8 P.E. Hodgson and D. Wilmore
- Use, comparison and critical assessment of the most widely used optical model computer codes.
- CP 9 S. Igarasi
- Application of the statistical theory to the prediction and evaluation of neutron cross sections for reactors - evaluation of ^{241}Am cross sections.
- CP 10 T. Wiedling
- Systematic optical and statistical model interpretation of measured elastic and inelastic neutron scattering data.
- CP 11 T. Schweitzer, D. Seeliger, K. Seidel and S. Unholzer
- Analysis of differential elastic and inelastic scattering cross sections by the Hauser-Feshbach theory.
- CP 12 E. Sartori and L. Garcia de Viedma
- Nuclear model codes available at the OECD Nuclear Energy Agency Computer Programme Library (NEA-CPL)
- CP 13 K. Seidel, D. Seeliger, and A. Meister
- Calculation of pre-equilibrium processes in $(n,2n)$, (n, np) and (n,pn) reactions.
- CP 14 D. Hermsdorf, G. Kissig and D. Seeliger
- The use of pre-equilibrium model in the evaluation of $^{93}\text{Nb} + n$ cross sections.
- CP 15 H. Jahn
- The importance of direct and pre-equilibrium contributions in the theoretical analysis of energy and angular distributions of inelastically scattered neutrons.

CP 16 E. Arndt and R. Reif

Direct inelastic neutron scattering to higher excited states.

CP 17 M. Uhl

Computer calculations of neutron cross sections and γ -cascades with the statistical model with consideration of angular momentum and parity conservation.

CP 18 W. Matthes

The code MODESTY for Monte Carlo calculations of nuclear decay cascades induced by neutron nuclear reactions.

CP 19 U. Facchini and G. Sassi

A statistical approach to scission mechanism.

CP 20 V. Benzi

Note on neutron fission competition in heavy nuclei.

WG1 : neutron nuclear data は、今日広く利用されている。これらのデータは実験および核物理の理論を使った計算により求められ、recommended 又は evaluated value として適当な format で編集され、利用者に配られている。この会議の主題は理論と計算がこれらのデータ利用に寄与する面を取りあげて調べることであったが、実験データも計算のチェックやパラメータの調整に利用されていることを考慮する必要がある。

review paper や contributed paper が示したことは、核物理理論には応用面の必要性に合うように拡張すべき部分が沢山あると言うことである。基礎研究の必要性が多くの例によって示された。以下の分野は特に基礎研究の発展により、より良く理解出来るようになると考えられる：

- (a) optical model の微視的解釈。パラメータの不確定さや変形の効果など。
- (b) radiative capture, precompound reactions, direct interactions, fission 等の核反応機構。
- (c) doorway state のような中間構造の解析。
- (d) level density のような量に含まれたパラメータ化した量の実証化。
- (e) 核構造概念との結びつき。例えば level density を shell model から解釈する。又、neutron 以外の反応の研究も必要である。

上記のような発展拡張が望まれる分野についての具体的手当として、適当な時期（多分1977年）に次のような topics を中心に数週間の seminar を開くことを recommend する：

- (i) Nuclear level densities
- (ii) Foundations and parametrizations of optical model
- (iii) Pre-equilibrium mechanisms, including doorway state concepts
- (iv) Fission theory
- (v) Development of relevant computer codes

IAEA はこのような seminar を開くことの可能性について調査すべきである。場所としては ICTP を推せんする。この seminar では基礎的理論家、評価者が一堂に会して、各分野の状況を討議し、必要とする発展について指摘を行うことである。こういう会合は developing country にとって必要である。この recommendation が採用されるならば、1976年中に組織委員会を作って準備を進めるべきである。

WG2a : resonance theory および statistical theory は neutron cross section の特性を物理的 model の parameter に結びつける公式であり、測定されている cross section 間の内、外挿および未測定の cross section を推定するのに重要な手段となっている。

低エネルギー又は軽い核の場合には Breit-Wigner の式が cross section を良く表現する。これらの parameter の統計的性質は良くわかっている。一般には cross section data に合うように決められるが、核構造の計算から求める努力も行われている。少し高いエネルギーでは resonance が重なり、競争する channel も開いてくる。こういう場合に multilevel multichannel R-matrix method が最も適している。軽い核の場合にはほとんど近似なし

に使えるが、Reich-MooreやAdler-Adler近似は channel 数と level 数が大きい場合に使える。

エネルギーが高くなり、個々の resonance の性質を見ることに意味がなくなると、エネルギー的に平均した cross section が必要になる。一般には fluctuation correction factor を使った Hauser-Feshbach formula で表わすことが出来る。必要な parameter は optical model から得られる channel transmission coefficients と fluctuation の自由度 (channel fluctuation index) である。この index と transmission coefficients とを結びつける経験式は一応出来ているが、理論的経験的關係を調べることが一層望まれる。fluctuation correction を積分せず求める近似は parameter の広い範囲で成功しているが、弱い吸収のある channel 間の反応では失敗している。これらは更に調べる価値がある。

direct reaction が競争としてある場合の平均 cross section は coupled channel model reaction amplitude と Engelbrecht-Weidenmüller 変換を使った fluctuation index で計算出来る。しかしこの direct reaction との競争の効果は限られた条件でのみ現れると考えられる。もっと広く適用出来る効果が偏極現象とゆらぎ現象とにおいて起っている。

statistical theory における energy interval は実験における energy resolution 又は炉定数の energy group structure によって決められる。統計的仮定と energy interval の大きさととの間の關係を調べて、これを明確にしておくことは group cross section に対する信頼性を示すのに重要である。この関連で statistical theory と pre-equilibrium process のような doorway state phenomena との間の關係を調べる必要がある。

或る種の応用にとって、散乱断面積のその平均値のまわりのゆらぎ (Ericson fluctuation のような) を統計的に表わすことが重要である。これは特に scattering cross section の非常に深い minima による flux window の生ずる確率を推定するのに利用される。このゆらぎを最近の statistical theory に照して調べる必要がある。

dosimetry および CTR に関連して tertiary reaction (γ -ray cascade を含む) が重要になって来ている。Hauser-Feshbach theory を使う限りは容易であるが、pre-compound process と direct reaction model を考慮する必要がある。

model parameter の不確かさはしばしば cross section の計算値の重大な誤差となって現れる。この不確かさは parameter を有限の sample を表わしているだけの実験データから導いていることによる。その1つが global optical model parameter であり、これは多くの type の cross section を正しくは表わしていない。個々の核種の cross section を適切に表わすためには、この核種についてのすべての実験値を使って十分な optical model analysis を行う必要がある。しかし、1つの核種のすべての cross section を1つの方法で記述しようとするならば、その1つの方法は S P R T-method であろう。即ち、s-wave と p-wave strength function, potential scattering radius, および total cross section の4つの量を fitting により実験値に合せる方法である。こうすれば strength

function model と optical model という異なる2つの model を使わなくてすむ。

level density の不確かさは statistical theory の応用にとって基本的制約になっている。現在のところ level density parameter a の systematics を含めて, semi-empirical approach が最も良いようである。その他, bound state と unbound state の spin-parity distribution の不確かさがある。

capture cross section の計算にはほとんど Brink-Axel estimate (E1-radiation strength function) が使われている。deformed nuclei には2本の Lorentz curve が必要になる。又, photon absorption cross section から giant resonance parameter を引き出す際には T_z (isospin) 成分のみを考慮すればよい。

γ -ray strength function は neutron separation energy のところで実験値に normalize するのが普通であるので $\Gamma_{\ell=\text{even}}^{\gamma}$, $\Gamma_{\ell=\text{odd}}^{\gamma}$ が重要な量になる。しかし, これらを実験的に決めるのは非常に困難である。 Γ^{γ} の理論的計算は level density, spin-parity distribution の不確かさのため困難である。

以上のような summary を通して, recommendation は次のような仕事と国際的討議を行うことにまとめられた。

- (i) 平均断面積とゆらぎの理論への new approach の評価と一般化
- (ii) 核反応の統計理論といろいろの反応機構の関係
- (iii) spin-parity distribution を含む level density
- (iv) low energy neutron data を重視しているすべての実験データから optical model parameter を導くこと
- (v) direct effect を含む γ -ray width の計算
- (vi) fission theory の応用
- (vii) group cross section の sensitivity と uncertainty

そして, 次のような code を作ることを recommend した, 即ち, width fluctuation factor, γ -ray, fission, charged particle を含む Hauser-Feshbach theory に基づく code。direct effect を含む準備をしておくこと。coupled channel および他の direct reaction の programme により Satchler の penetration matrix を準備すること。

なお, このグループ以外の所でまとめている部分, 例えば fission の部分などについてはここでは除いている。

WG 2 b: capture cross section と γ -ray spectrum についての問題をまとめた。low energy では compound nucleus theory が一般に応用可能で, 従って γ -ray strength function が問題になる。最近では giant dipole resonance strength を lower γ -ray energy へ外挿する, いわゆる Brink-Axel approach が良く用いられるが, $A \geq 90$ の核についての実験的検討では多くの場合成立するが, 幾つかの核では成立していない。理論的にも実験的にも更に研究が必要である。

5~20 MeV の高い領域では direct-semidirect model が一般的には実験を良く説明しているが、なお particle-vibration coupling interaction の形が問題として残されている。direct-semidirect model calculation の結果は使用した bound state や optical model, giant dipole state の parameter に強く依存している。特に, optical potential の isospin part の強さのような決定的な parameter に左右される。又, spectroscopic factor と level scheme も重要で、これらの信頼出来る set を求めることが今後、evaluator が行うべきことであり、そのためには沢山のデータを系統的に解析することが必要である。

WG 2 c : 内部自由度の励起によって生ずるいわゆる intrinsic level density は single particle energy を使って定義出来るが、これが一意的には決まらない。この single particle energy を求めるのに Nilsson-type や Woods-Saxon type 等のいろいろの potential が用いられている。この intrinsic level density から total level density を導く際に、collective state からの寄与を考慮していない。neutron separation energy の所での observed level density と計算との比較では 5 倍程の不確定さがある。理論上の困難は

- (1) spherical nuclei と deformed nuclei の変り目の領域をどう扱うか。
 - (2) deformed nuclei の low excitation と high excitation の変り目をどう扱うか。
 - (3) 他の collective states, 即ち vibration の寄与を energy の関数としてどう扱うか。
- である。こういう困難は応用の目的には受け入れ難い。その場合には level density はパラメータ化して観測結果の系統性から求めることになる。しかし、この場合、外挿することは危険である。より良い level density の表式を得るためには理論を使って基本的な依存性に簡単な解析的な形を与えることである。このようにして、考えている核と energy の範囲で parameter を合わせるべきである。

WG 3 : optical model はしばしば他の理論の基本になっている。optical potential 中の parameter を扱うための良い方法がいろいろ見つけられて来ており利用者は global optical potential とより詳細な potential との選択も出来るようになってきている。前者では 10% の精度で結果が得られるし、更に精度が必要なら近傍の核に fit した potential を使えば良い。optical potential の理解はかなり満足な状態であるが、なお幾らかの問題がある。その一つが isospin potential の役割である。proton 散乱の実験によると、fission product や actinide のような nuclear stability line から遠く離れた領域で isospin term を改良しなければならないような報告がある。これは多分 deformed nuclear model にお開発を必要とする領域があることを示していると考えられる。又、deformation parameter をもっと正確に知る必要があるが、これらは scattering theory だけから求めるのは無理で、Nilsson model, Hartree-Fock method および実験の Coulomb scattering のような他の要素を必要とする。他の一つは deformation に anharmonic form を入っていないことである。将来核構造をより良く知るために、これが必要になると考えられる。将来は個々の核の optical potential を直接導く微視的 model を用いることになるであろう。この分野

では特にmatrixでoptical modelをパラメータ化している最近の方法が有用になるであろう。

与えられた核について広いenergy rangeにわたって首尾一貫したデータの組を予測するためにoptical parameterの一组がstrength function, low energyでのscattering radius,そして十分広い範囲でのtotal cross sectionについて決められることをrecommendする。

computer codesは評価のためのoptical model calculationの必要性に必ずしも応えていない。入出力はもっと流動的である方が良く、発展途上国で利用出来るようなcodeも作るべきである。そのために、例えばglobal potentialの標準セットによるtransmission coefficientsのtableを用意すべきであろう。

optical modelに関するseminarで次のtopicsを取りあげることをrecommendする。

- (1) optical modelの基礎づけ。
- (2) sphericalおよびdeformed potentialについての方程式の解法。
- (3) non-local effect, folding potential, パラメータ化の処理法を含むoptical potentialの現象論的および原理的基礎。
- (4) modelの応用性, 評価におけるその適応性と利用の範囲。

WG 4 : 5 MeV 以上におけるneutronおよびcharged particle induced reactionにpre-compound decay mechanismの概念が必要になって来た。このmodelの理論からの理由づけは未だ完全に行われていない。しかし、このmodelは簡単で有効であり、更に発展させることが望ましい。次の点が重要である：

- (a) directとprecompound nuclear reactionの区別を明確にすること。
- (b) precompound decayおよびenergy dissipationについて核構造の効果をより良く知ること。
- (c) nuclear model codeにおいてprecompoundの段階でのangular momentumの正しい取り扱いの可能性を与えること。

このmodelにはなお多くの問題が残されており、それらを解決するために(p, n), (p, p'), (n, p), (n, pn)などの実験を良いresolutionで行うこととpion captureの実験を行うことが望ましい。又、このtopicsについての講義を1977年のICTPにおけるseminarで行うことをrecommendする。

WG 5 : 工学的要求を満すような測定を行うことは非常にむずかしく、例えば ^{235}U , ^{239}Pu , ^{238}U のfast neutronによるfission cross sectionは3~5%の精度で測れるようになっているが、要求は1%より良い値を望んでいる。すでにかなりの精度で測られている核種を除いて、transactinium nucleiのdataは

- a) transactinium nucleiの生成、長期運転における炉物理特性の変化
- b) spent fuelの輸送の処理工場設計
- c) 長期原子力計画による廃棄物として作り出されるhigher actinideの焼却処理の長期将来計画の検討

などの目的のために要求されている。これらの要求を満す程多くの核についてデータを求めること

は少なくとも近い将来可能とは思えない。

fission theory の分野では Strutinsky の仕事と 1967 年に double-humped fission barrier が発見されて以来、非常に多くの仕事が行われたが、定量的精度は未だ工学的要求を満たすには至っていない。核データの評価における fission theory の当面の役割は、neutron 以外の核反応データおよび核構造データを含み、多くの実験データを関係づけ系統化することである。かくして、定量的計算においてかなりの自信を以って使うことが出来るパラメータを示すことが出来る。

fission theory は現在次の 3 つの主題を追っている：

a) deformed space における potential energy surface の地図、b) 慣性パラメータを含む力学的考察、c) 粘性とそれに関連する統計 model。以下これらについて述べる。

a) Potential energy surfaces

これまでに行われた仕事の傾向として、それぞれの流儀で deformation space のパラメータ化を行って来ている。従ってお互いの比較が困難で、物理的完全性についての確信を持っていない。何故ならば、調べられた deformed space が限られているし、又、或る程度パラメータの選択によってゆがめられているからである。

fission barrier 領域でこれまでにわかった計算から、barrier height の推定に 0.5 ~ 1 MeV 程度の不確定さが生ずるのは現状では止むを得ぬようである。これは、fission cross section の計算に 3 ~ 10 倍の不確定さとなって現れる。

mass yield の決定には barrier と scission point の間の potential energy surface が重要である。barrier region について上で述べたことは、ここでは一層強い理由を以って強調される。何故ならこの領域は一層複雑で十分に調べられていないからである。

b) 力学的考察

これまでの研究はすべて Cranking formalism を採って来た。Cranking formula の基礎づけとその十分さについては更に研究する必要がある。多くの研究は ground state についてで、excited state については少ない。この仕事は未だに初期の段階にあり効果的なデータの予測には使えない。

c) 粘性など

microscopic theory から始まる基礎的な仕事に関しては、この分野は更に初期の段階である。heavy ion の研究と関連つけることが必要である。より直接的には、nuclear viscosity に関する information を fission product の mass, charge, 励起エネルギーなどのデータから求めるのが有益である。

このように応用分野からの要求精度に適したデータを作ることは未だ出来ないが、以上のことは理論によってやがてそれが可能になる見込みを示している。理論の現状を実験データの解析に応用してパラメータ化と計算の処理法を作ると多分 30% 位の精度まで cross section を予言出来る筈である。

cross section を計算する model の基礎づけはすでに行われているが、その拡張と整理を行

う必要がある。Th 領域の核のような low-charge の核には理論の現状は弱い。このような核は 2つの barrier の高さが似ていて従ってその間の谷が浅く、cross section には顕著な vibrational resonance を示している。理論の現状からはこのような特徴を示す potential energy surface が再現されていない。Nix-Möller は外側の barrier を分けて第3の浅い谷を作り、又 Larsson et al は軽い核では quadrupole pairing force が内側の barrier をかなり上げることから、理論の現状の改善を提案している。potential energy surface の詳細な研究と reaction theory の発展が必要であり、これに関して barrier での level density と low-lying channel structure が用いられるようになる。barrier level density は励起エネルギーの高い状態への拡張のために必要である。Barrier penetrability についても考慮を必要とする。fission product yields について application の分野で使っている幾つかの semi-empirical work を理論的に裏づけることが理論の発展のために必要であり、又、それは可能であると考え。

fission neutron spectrum は理論的に取りあげてよい領域である。100 又は 200 keV 以下の spectrum のデータは reactor physics にとって重要であるが、この辺のデータは乏しい。fission neutron spectrum を表わす式は理論的に考察によってのみである。従って、非常に低いエネルギーへまで外挿する際には疑わしいことになる。この問題を厳密に理論的に扱うには mass と energy 分布の理論を待たなければならない。scission point 附近で放出される中性子の役割を正しく理解することは fission theory によって行えることの1つである。scission neutron の fraction や energy 分布についての厳密な理論的研究は行われていない。核分裂過程における neutron と gamma ray 放出に関する多くの実験データを更にもっともらしい現象論によって解析を行う余地は沢山ある。

potential energy surface を計算する Strutinsky method に基づいた code は沢山あるが、一般に利用可能でない。これらを利用可能にするよう作者に働きかけ、更に code の cross-check を行うべきである。double-humped barrier の枠内で fission width, fission transmission coefficients 等を扱う code が幾つかあるが、これらは empirical 又は calculated level density formula を用いている。特に barrier level density については未だ進展の過程にあるので、code が利用可能になるまでには少々時間がかかると思われる。関連した code としては level density code が有用である。nuclear shape の非対称性による rotational および他の collective enhancement factor の結合が新しい発展として望まれる。

一般に、nuclear fission theory に関する code の存在を知ろうとする試みがないように思われる。これは他の reaction theory の分野と非常に異なる点である。従って、或る特定の機関が系統的にこのような information を探すよう任命されることを recommend する。

fission theory については現在なお独自の発展が続けられる状態にあると言って良い。現在求められていることは fission theory の研究を核データ評価に焦点を合わせることである。これは暫定的に決められている 1977 年の Trieste における会議で検討されるであろう。この関連で、

次の Physics and Chemistry of Fission の Symposium も 1977 年に開かれることを考えて、Trieste の会議をこの Symposium の直後に開き、多くの experts を招集し Symposium の成果を十分に利用するよう recommend する。

WG 6 : 1971 年の Neutron Nuclear Data Evaluation Panel 以来、同じ物理的問題を扱う異なる code 間の比較が世界的にかなり行われた。結果の間に差があっても、その原因はかなり良くわかっていると思われる。今後もこのような比較を volunteer base で続けることを recommend する。更に IAEA は多くの国々の各機関に通知して、このような試みを促進することを recommend する。

現存する code についての list が NEA から配布されたが、この list の質を向上させるために次の点について関係機関が適当な処置をすることを recommend する。

- (i) その code が未だ使用されており正しい結果が得られているかどうか。
- (ii) その code が廃棄されたかどうか、そしてどの code に代ったか。
- (iii) Computer Program Library に更にどんな code が加えられるべきか。
- (iv) 利用者に興味があると思われる code の名前を加えること。

Nuclear Model Calculation の分野における code の開発および異なる computer への変換を含む bulletin の発行は code の交換と配布を改善すると考える。

大型計算機を使用していない国の利用者のために、大きい program を作る際には最小限の修正で小型計算機に使えるようにすべきである。

nuclear model code に関する seminar を 1976 年秋かそれ以前に CPL において開くことを recommend する。topics は code 間の比較と pre-equilibrium, fission, direct process のような最近発展を見た分野における code の提示を含む。

以上 6 つの Working Group の recommendation を紹介した。これらでおわかりのように、今後多くの国際的交流が理論の面でも計画されている。又、評価の立場から見ると、ずい分多くの問題が残されていることがわかる。逆に評価を進めてみて、理論の不備さや問題点がはっきりして来たところもある。こうした事を考えると、核データの評価の裾野の広さが改めて感じさせられた。