

ALICE の進化

日本原子力研究所核データセンター

深堀 智生

e-mail: fukahori@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

ご存知の通り ALICE は M.Blann (LLNL) が作成したエキシトンモデルおよび統計模型のハイブリッドモデルもしくは Geometry Dependent Hybrid Model (GDH)[1] と呼ばれる改良型ハイブリッドモデルを前平衡過程計算に採用し、Weisskopf-Ewing 蒸発模型[2] と併せて核反応の計算を行うコードである。準位密度公式には、Fermi ガスモデル、液滴模型、殻効果を考慮できる KRK モデル[3] が使用可能である。ALICE 系のコードには 3 系統あり、1 つはもちろん Blann が改良を続けているコード群[4-7] で、筆者の知る限り最新版は ALICE/95[7] と呼ばれているものである(以下、「Blann 系統」と呼ぶ)。また、Monte Carlo 法を採用した HMS[8] と呼ばれるコードも作成している。第 2 は S. Pearlstein(BNL) と筆者の行った中高エネルギー核データ評価用に ALICE/89[5] を改良した ALICE-P[9] および ALICE-F[10] の系統である(以下、「ALICE-F 系統」と呼ぶ)。両者の最も大きな違いは、計算可能なエネルギーが 300 MeV から 1 GeV (ALICE-F は一応 3 GeV) に拡張されている事である。第 3 は ALICE/91[6] から Yu. Shubin (IPPE) が改良を施した ALICE-IPPE[11] で、ALICE-F と似たものである(以下、「IPPE 系統」と呼ぶ)。図 1 にこれらの系図を簡単に記す。Blann 系統の初期の ALICE については文献[12] で解説してあるので、そちらを参考にして戴きたい。以下、それぞれの系統の改良点及び特徴を概説する。

2. Hybrid Monte Carlo Simulation (HMS)

ここでは、文献[8] を概説する。HMS は、Blann の提唱した Hybrid Monte Carlo Simulation (HMS)[13] を用いた前平衡過程計算コードである。この理論は、部分準位密度を用いた核物質中の核子-核子散乱 (GDH モデル[1]) を元になっている。これを前平衡過程からの放出粒子角度分布計算に応用している。エネルギー的には、400 MeV まで利用可能である。このコードの利点として、

- FKK モデル[14]等に見られる Multi-step Direct (MSD)成分のステップ数及び前平衡過程からの放出粒子数の制限がない。
- カスケードモデルとの違いは、particle-hole 双方のエネルギー保存、放出確率計算に逆反応断面積を利用していることである。カスケードモデルの前平衡成分計算に組み込むことが容易である。

が、挙げられる。

3. ALICE/89 から ALICE-F へ

Pearlstein の行った ALICE/89 から ALICE-P への主な改良[9]は、

- 計算可能なエネルギー範囲を 1 GeV に拡張。
- Perey-Perey の光学ポテンシャル[15]を基に 100 MeV 以上の実験値にフィットしたグローバルポテンシャルに置換。
- 全断面積、弾性散乱断面積および弾性散乱外断面積の系統式[16,17]を導入。
- 放出粒子に He-3 および t を追加。
- 可能な中性子放出数を各 Z (=9) 毎に 11 から 22 に拡張。
- 中性子放出二重微分断面積に系統式[16,17]を導入。

である。更に、筆者の行った現時点での ALICE-P から ALICE-F への改良点[7]は、

- d, t, He-3, α 粒子に関して、クラスタ放出理論（岩本-原田理論）[18,19]を用いて前平衡過程からの放出を考慮。
- Tachibana ら[20]の質量公式を追加し、Wapstra'88 質量表[21]に置換。
- 殻効果および対エネルギー補正を分離エネルギーと準位密度計算で分離。
- 中高エネルギー核分裂断面積の系統式[22]を導入。
- γ 線入射反応の計算を追加。
- 荷電粒子二重微分断面積に関して Kalbach の系統式[23]を考慮。
- 出力の制御。

である。これらについては、文献[24]に記述しているので、詳細はこちらを参照していただきたい。

4. ALICE/91 から ALICE-IPPE へ

文献[11]の概説を行う。ALICE-IPPE は、ALICE/91 からの改良版であり、MENDL-2 作成(入射中性子エネルギーは 100 MeV まで)のために開発された。ALICE-IPPE には、

- d 放出に関し、現象論的に直接過程を考慮した。
- α 粒子放出スペクトルに pick-up 及び knock-out 過程を加えた。
- t 及び He-3 粒子放出スペクトルに岩本-原田-佐藤モデルの前平衡成分を加味した。

- 準位密度計算に Generalized Superfluid Model の導入。
- 統計崩壊において、 γ 線と陽子及び中性子の競争を考慮した。
- 陽子の前平衡過程からの多重放出に関して改良を加えた。
- Kalbach の系統式を考慮した。

等の改良が施されている。

前平衡過程からのd放出スペクトル計算には岩本-原田-佐藤モデルを当初用いたが、スペクトルの高エネルギー成分に過小評価が見られた。このため、エキシトンモデルを元にした現象論的直接過程モデル[25-27]を用いて、高エネルギー成分を補償している。結果は、knock-out過程と思われるスペクトルの高エネルギー端に若干の過小評価を残しているが、おおむね良好である。

α 粒子放出スペクトル計算には、蒸発過程に加えて岩本-原田-佐藤モデル及びknock-out過程[28,29]を考慮した。この他、t及びHe-3粒子の前平衡放出スペクトルを岩本-原田-佐藤モデルを用いて導入した。

準位密度計算に従来ALICEに含まれていたモデルの他にIgnatyukによるGeneralized Superfluid Model[30-33]を導入した。Vibrational及びRotational Enhancement Factor [34]も考慮した。これにより、閉殻近傍核の反応断面積計算結果の実験値との一致が改善された。

5. おわりに

以上、ALICE の改良過程（進化？）について簡単に解説した。本報告と文献[12,24]（ALICE 三部作？）で ALICE 改良の流れがわかることになる。物理的な説明があまり詳細にわたっていなかったため、核物理理論の研究をされている方々には甚だ物足りなかったと思うが、これから中間エネルギー領域の計算を何らかの形で行おうと考えている研究者のコード選択の 1 つとしての参考にはなったかと思う。手抜きであると思うが、物理的な説明の代わりにできるだけ参考文献を添付したので、物足りない諸氏はそちらを参考にして頂きたい。また、筆者が改造中（現在、UNIX 版の作成中である。）の ALICE-F システムはまだまだ多くの改良すべき点が残っていると思われるので、今後、ALICE-F システムまたは ALICE を使って計算をされる方はその使用経験を筆者までお知らせ頂ければ幸いである。

参考文献

- [1] M. Blann and H.K. Vonach; Phys. Rev., **C28**, 1475 (1983).
- [2] V.F. Weisskopf and D.H. Ewing; Phys. Rev., **57**, 472 (1940).
- [3] V.S. Ramamurthy, M. Asghar and S.K. Kataria; Nucl. Phys., **A398**, 544 (1983).
- [4] M. Blann; CODE ALICE/85/300, UCID 20169, (1985).
- [5] M. Blann; CODE ALICE/89, UCRL-95918 (1987).
- [6] M. Blann; CODE ALICE/91, private communication (1991).
- [7] M. Blann; CODE ALICE/95, private communication (1995).
- [8] M. Blann and M.B. Chadwick; Phys. Rev., **C57**, 233 (1998).
- [9] S. Pearlstein; J. Astrophys., **346**, 1049 (1989).
- [10] T. Fukahori; Proc. Specialists' Meeting on High Energy Nuclear Data, Tokai, Japan, Oct. 3-4, 1991, JAERI-M 92-039, p.114 (1992).
- [11] A.I. Dityuk, A.Yu. Konobeyev, V.P. Lunev, Yu.N. Shubin, "New Advanced Version of Computer Code ALICE-IPPE", INDC(CCP)-410 (1998).
- [12] 馬場澄子、関根俊明;「計算コード"ALICE"の内容と使用法」, JAERI-memo 7768 (1978) (in Japanese).
- [13] M. Blann; Phys. Rev., **C54**, 1341 (1996).
- [14] H. Feshbach, A. Kerman and S. Koonin; Ann. Phys., **125**, 429 (1980).
- [15] C.M. Perey and F.G. Perey; Phys. Rev., **132**, 755 (1963).
- [16] S. Pearlstein; Nucl. Sci. Eng., **95**, 116 (1987).
- [17] S. Pearlstein; Nucl. Sci. Eng., **49**, 162 (1972).
- [18] A. Iwamoto and K. Harada; Phys. Rev., **C26**, 1821 (1982).
- [19] K. Sato, A. Iwamoto and K. Harada; Phys. Rev., **C28**, 1527 (1983).
- [20] T. Tachibana, M. Uno, M. Yamada and S. Yamada; Atomic Data and Nuclear Data Tables, **39**, 251 (1988).
- [21] A.H. Wapstra, G. Audi and R. Hoekstra; Atomic Data and Nuclear Data Tables, **39**, 281 (1988).
- [22] T. Fukahori and S. Pearlstein; Proc. of IAEA Advisory Group Meeting on Intermediate Energy Region Nuclear Data for Applications, INDC(NDS)-245, p.93 (1990).
- [23] C. Kalbach; Phys. Rev., **C37**, 2350 (1988).
- [24] 深堀智生;「ALICE を裸にする」, 核データニュース, No.46, 41 (1993).
- [25] E. Gadiori; "Emission of Complex Particle in Precompound Reactions", Report of Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Milano, Italy, INFN/BE-88-2 (1988).
- [26] E. Dobes and E. Betak; Proc. Int. Conf. React. Models 77, Balatonfured, p.195 (1977).
- [27] C. Kalbach; Z. Phys., **A283**, 401 (1977).
- [28] L. Milazzo-Colli and G.M. Braga-Marcazzan; Nucl. Phys., **A210**, 297 (1973).
- [29] A. Ferrero; Z. Phys., **A293**, 123 (1979).
- [30] A.V. Ignatyuk; Yad. Fiz., **21**, 20 (1975).
- [31] A.I. Blokhin, A.V. Ignatyuk, A.B. Pashchenko, Yu.V. Sokolov and Yu.N. Shubin; Comm Acad. of Sci. of USSR, **49**, 962 (1985).
- [32] A.I. Blokhin, A.V. Ignatyuk and Yu.N. Shubin; Sov. J. Nucl. Phys., **48(2)**, 232 (1988).
- [33] A.V. Ignatyuk, J.L. Weil, S. Raman and S. Kahane; Phys. Rev., **C47**, 1504 (1993).
- [34] A.V. Ignatyuk, K.K. Istekov, G.N. Smirenkin; Yad. Fiz., **29**, 875 (1979).

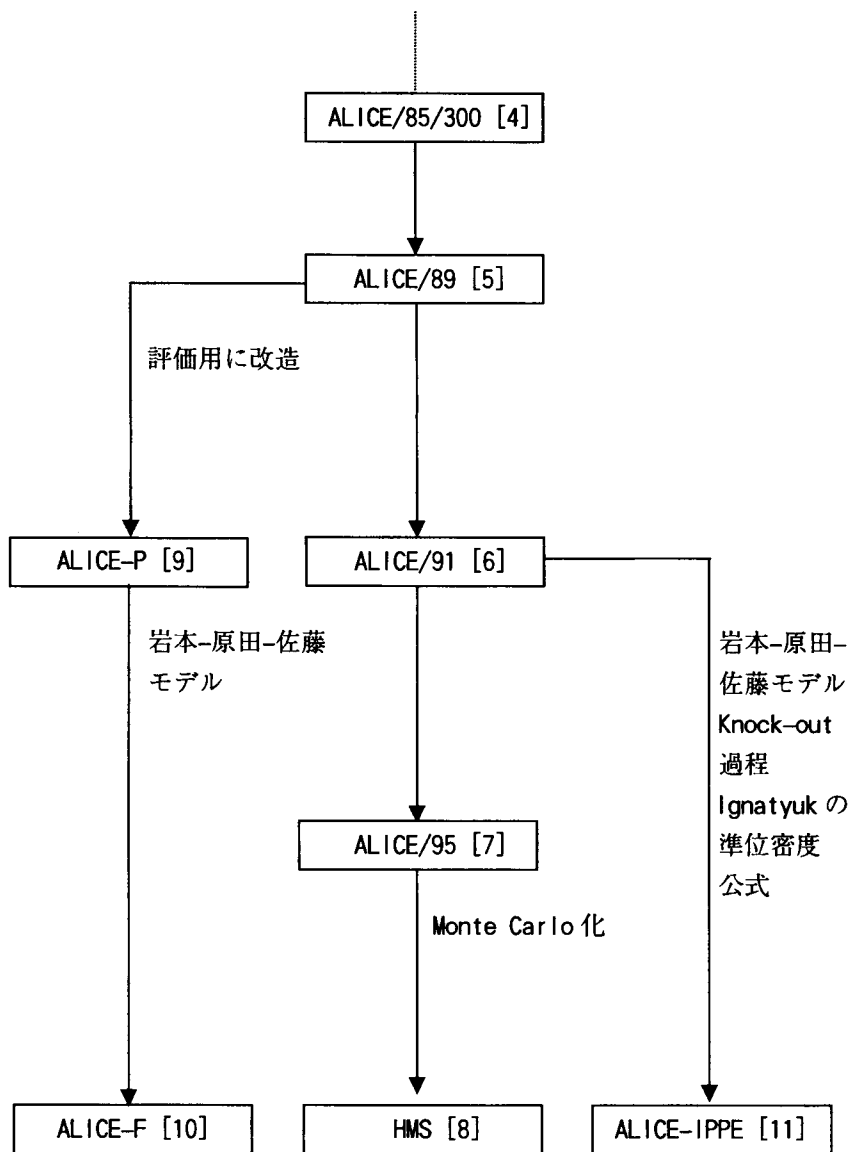


図 1 ALICE の系統図