

原子核反応のオンライン評価システムの構築に向けて

Towards On-Line Evaluation System of Nuclear Reactions

大西 明^a, 大塚直彦^b

a. 北海道大学大学院理学研究科物理学専攻

b. 北海道大学知識メディアラボラトリ

Akira OHNISHI^a and Naohiko OTUKA^b

a. Div. of Phys., Grad. School of Sci., Hokkaido University

b. Meme Media Laboratory, Hokkaido University

Abstract:

An example of on-line evaluation programs — JAMming on the Web — is created and opened to the public. We show some of the features of this page and the necessity of the on-line evaluation system is discussed.

1 高エネルギー核データ評価の必要性和現状

核データは、原子炉での反応過程の評価や加速器での遮蔽設計などの工学的な応用に加え、星の中での元素合成反応(天体核反応)を評価する上での基礎データなどとして広く利用されている。また、高エネルギーの素過程反応データは近年大きく進展している相対論的重イオン反応データを分析・評価する上で不可欠なものである。

NRDFにおける核データ活動は、これまで主として1)実験データを論文から収集する「データ収集活動」、2)国際的な核データ交換 format (EXFOR) への変換、3)大型計算機センター、Web を通じた「データ公開」の3つを主要テーマとしてきた。ところが実際のデータでは、測定値の実験ごとのバラツキなどが存在し、また必要なエネルギーでのデータが測定されているとは限らないため、利用する上では「データの評価」が欠かせない。

低エネルギー ($E_n < 50$ MeV) の中性子入射反応に関しては、従来の軽水炉などの原子炉設計に必要であるため、「評価済核データライブラリ」が複数存在している [1]。荷電粒子反応についても低エネルギーのデータは星の中での元素生成の機構解明のために古くから評価済核データが整備されてきた [2]。また基本的な素過程である核子-核子散乱や光ハドロン生成については広いエネルギー領域においてオンラインで評価するシステム [3, 4, 5] が稼働しており、多くの研究者が利用している。

しかしながら高エネルギーの陽子(あるいはハドロン)-核反応 (pA, hA) や核-核反応 (AA) では「評価済」といえるライブラリやオンラインシステムは見当たらない。この第一の理由は、実験データのテーブルから内挿できる程には(陽子-核の弾性散乱等を除いて)同種のデータが系統的に測定されていないためであり、第二の理由は、ハドロン-核や核-核反応が量子力学的な多体問題であり、完全に解くことが不可能なためであろう。高エネルギー原子核実験は施設が限られており、実験を行う上で PAC (実験審査) を通す必要があることから、様々な入射エネルギー・反応・物理量に対して直接内挿できる程、系統的にデータを集めることは不可能といえる。よって理論モデルによる予測・評価とその改善の積み重ねが必要となる。

実際的な問題として、工学上の応用では大強度加速器における遮蔽・放射化の評価や加速器駆動炉 (Accelerator Driven System) の設計を行う上で高エネルギー領域 ($E_{inc} \geq 50$ MeV) の評価済核データは必要である。こうした必要性から、実際、KEK-JAERI の統合計画における加速器建設のため、原子力コードに近年核物理で開発されたモデルを組み込んだプログラム (例えば NMTC-QMD, NMTC-JAM 等) が生成粒子のエネルギー分布や生成核種の評価・予測に用いられ始めており [7]、評価済核データライブラリに反映されるであろう。また、より標準的といえる歪曲波近似 (DWBA など) を利用した弾性・非弾性散乱、準弾性散乱の評価等も進んでいる。

ところが前述のように、これらのモデルによる評価は必ずしも確定したのではなく、モデル自体が評価・改善されるべきものであり、場合によっては異なるモデルへの置き換えが必要となることもあるだろう。現時点では、加速器駆動炉 (ADS) の研究開発に必要なデータに関して、例えばシグマ委員会の高エネルギー部会において原子力工学・核データの立場からモデルの検討が行われているが、GeV を越える入射エネルギーの反応での標準的なモデル・反応機構が核物理としても確定していないこの段階では、より広く原子力・核物理の研究者の協力を仰ぎ、異なるモデル間の比較、標準的なモデルの模索、標準的な入力データ・ライブラリの整備等を行っていく環境を作ることが望ましい。

筆者らは、核データ活動を行う者であると同時に原子核物理学の研究者であり、工学的応用が必要なデータに限らず、データをオンラインで評価するシステムの構築を行っていきたいと考えている。このためには原子力・核物理の研究者から広くプログラムを提供してもらい、また様々なプログラムをオンラインで動作させ、結果を表示させるシステムを作る必要がある。

今年度は、この雛型として原子力コードでも利用されている高エネルギーの pA , AA 衝突を記述する輸送モデル JAM を Web 上で動作させ、結果を表示させる Web page を大塚が作成した [6]。次節ではこの Web page を紹介し、今後の展開について議論する。

2 JAMming on the Web

JAM は奈良 寧氏が作成したハドロン・カスケードモデル (モンテカルロ・シミュレーション) であり [8]、多くの共鳴ハドロンやストリング生成を考慮している、非常に高いエネルギーでは素過程としてジェット生成を考慮している、などの点で広いエネルギー領域において適用可能なモデルである。このため、近年原子力コード組み込まれて核データ評価に用いられている。

JAMming on the Web のページ [6] では、高エネルギーの核反応の部分のみのシミュレーションを行い、その結果をオンラインで表示する。まず JAMming on the Web の入口のページ (図 1) で、入射エネルギーや入射粒子・標的粒子、計算者の E-mail を入力する。submit のボタンを押すと計算が開始される。時間のかからない簡単な計算であればすぐに計算結果のページ (図 2) にジャンプするが、ある程度以上計算時間がかかる場合は Waiting のページ (図 3) で待たされる。(E-mail で結果のページの URL が連絡されるので、待たされるのが嫌な場合は後からアクセスできる。) 結果のページ (図 2) では核反応のアニメーションと数種類の粒子のラピディティ分布を表示するようになっている。

さて、図 1,2 にのせた例では ${}^4\text{He}$ (200 GeV/A) + ${}^{197}\text{Au}$ の衝突のシミュレーションを 10 イベント行い、その計算結果のいくつかを表示させたものである。アニメーションは最初の 1 イベントのみ表示されるが、このイベントでは ${}^4\text{He}$ 原子核が Au 原子核と衝突して粒子生

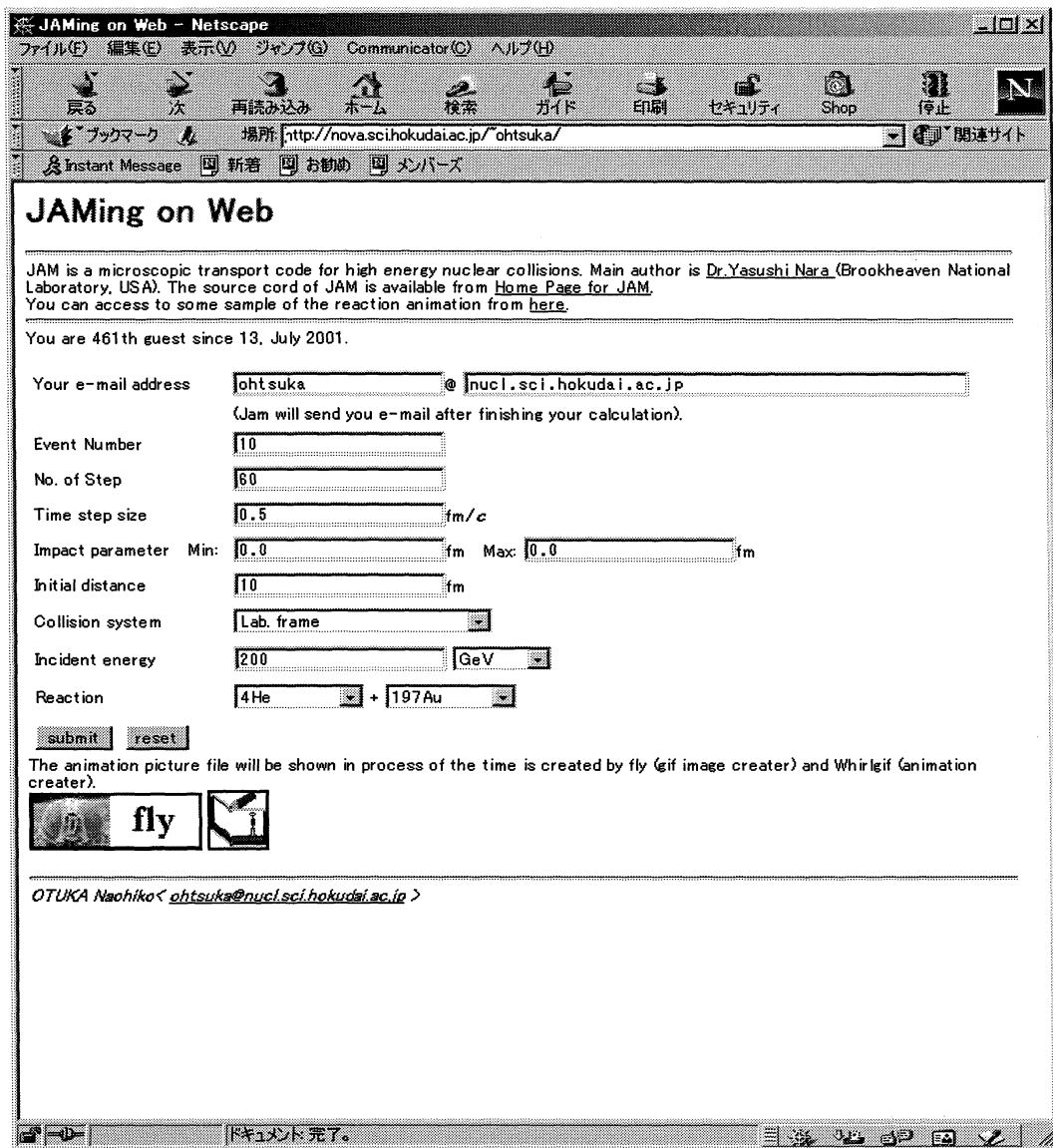


図 1: JAMming on the Web の最初のページ。

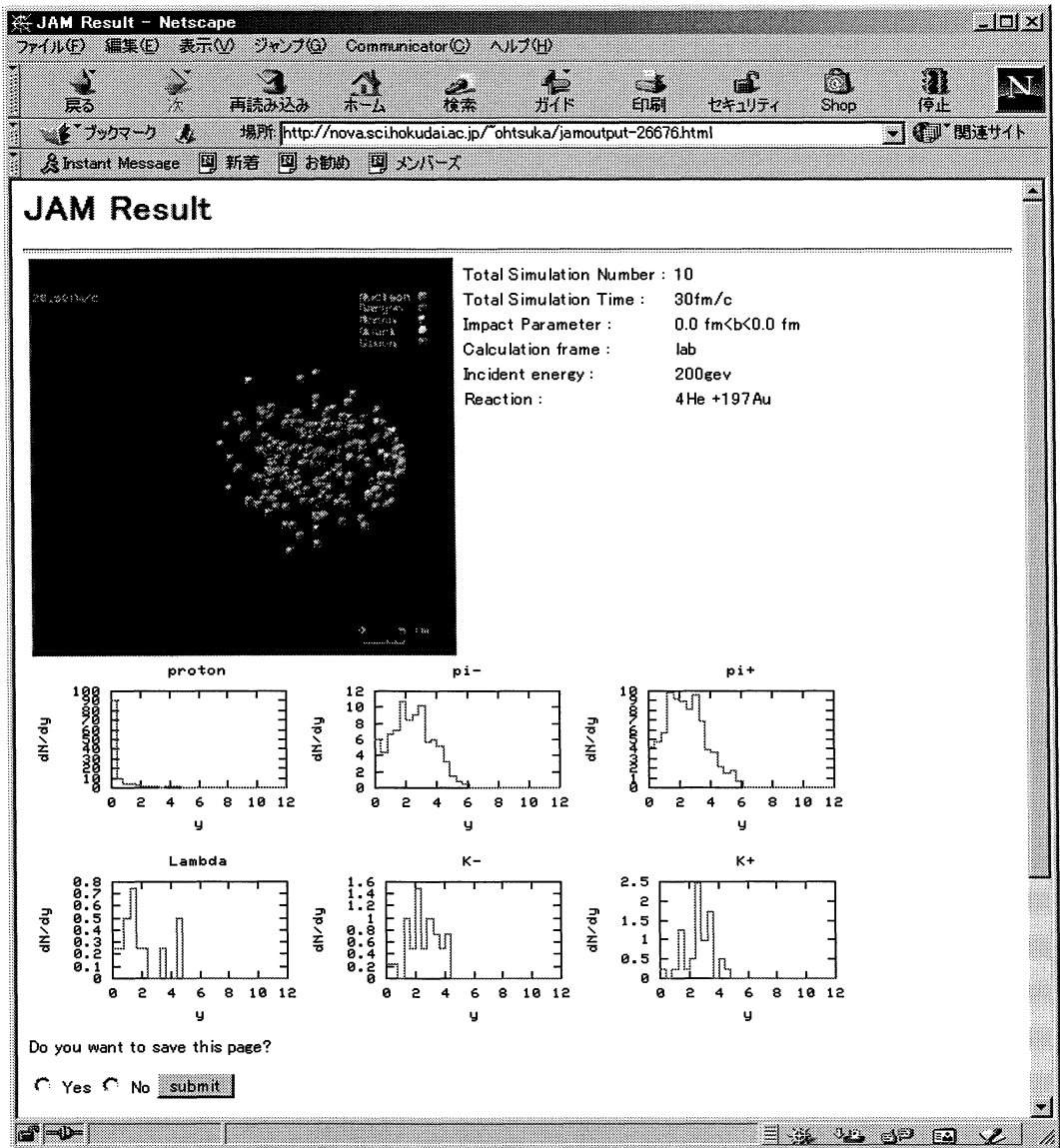


図 2: JAMming on the Web の結果のページ。

成を行いながら、一部がつき抜けていることが見て取れる。また粒子のラピディティ分布の図(図2の下半分)からは、多くの π 粒子が生成されていること、ストレンジネスを含む粒子のrapidity分布を描くにはもっとイベントが必要であること、などが見て取れよう。

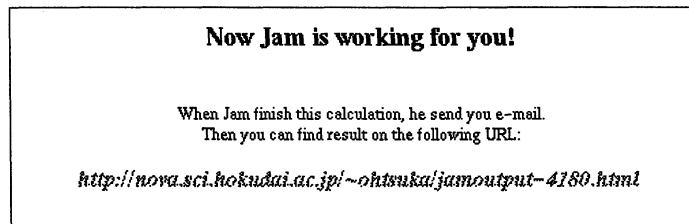


図 3: Waiting のページ。

モンテカルロ計算であるため、研究に実際に利用するためには 100 ~ 1000 イベント程度の計算は行う必要があり、現在のサーバー (Alpha 21164pc 433 MHz) の能力からしてかなり待たされるという感じは否めない。しかしながらプログラムの中身を全く知らなくても計算結果を見ることができるのが、こうしたオンライン計算システムの長所であろう。

3 今後の展開

原子核物理学・核データ・原子力工学におけるオンライン計算システムは、魅力的といえるだろう。加速器駆動炉 (ADS) の開発等には現在も発展しつつある物理学の成果を取り入れていく必要性があり、また、原子核物理学においても、多くの理論研究が「研究内容=論文+プログラム」となっている現状において、今後その重要性がますます考えられる。

今後の展開として、核データとして蓄積されている実験データを検索して理論計算結果とオンラインで比較するシステムの実装、一定の入力・出力形式をもつプログラムであれば簡単な作業でプログラムを登録して動作させられる環境の整備等が期待される。

参考文献

- [1] 例えば、JENDLE-3 (T. Nakagawa et al., J. Nucl. Sci. Tech. **32**(1995), 1259) 等。
- [2] NACRE server, <http://pntpm.ulb.ac.be/nacre.htm>
- [3] CNS DAC Services [SAID Program], <http://gwdac.phys.gwu.edu/>
- [4] NN-OnLine at Nijmegen, <http://nn-online.sci.kun.nl/nn/index.html>
- [5] MAID (Photo- and Electroproduction of Pions, Etas and Kaons on the Nucleon)
<http://www.kph.uni-mainz.de/MAID/>
- [6] JAMming on the Web by Otuka, <http://nova.sci.hokudai.ac.jp/~ohtsuka/>
- [7] 吉田・井頭・大崎・辻・大石・千葉・仁井田・長谷川, 原子力誌 **43**(2000), 761.
- [8] Y. Nara, N. Otuka, A. Ohnishi, K. Niita, S. Chiba, Phys. Rev. C **61** (2000), 024901.