

# 研究会「宇宙黎明期の恒星の進化と元素合成過程」報告

## Report on Workshop “Evolution of Stars at the Dawn of the Universe and the Process of Nucleo-Syntheses”

北海道大学大学院理学研究院物理学部門  
加藤 幾芳  
日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門  
大塚 直彦  
KATŌ Kiyoshi  
Department of Physics, Hokkaido University  
OTUKA Naohiko  
Nuclear Data Center, Japan Atomic Energy Agency

### Abstract

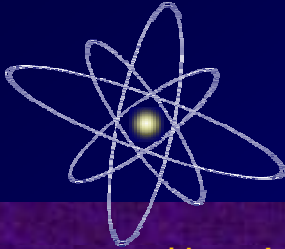
Recent progress in observation and theory of metal-poor stars enables us to explore the dawn of the universe. Investigation of the stars in the dawn of the universe requires both chemical composition analysis of metal-poor stars and theory of star evolution. Information of nuclear reaction inside in stars is also essential to understand nuclear synthesis in the early universe. The workshop “Evolution of Stars at the Dawn of the Universe and the Process of Nucleo-Syntheses” was held on February 22 and 23 in Hokkaido University in order to discuss strategy of compilation and evaluation of nuclear reaction data in the nuclear data centre to be founded in April, 2007. In this report we show the program of the workshop and the slides of activity report on JCPRG presented in the workshop.

## 1 はじめに

近年の金属欠乏星の観測と理論の進展により、宇宙黎明期の探査が進みつつある。宇宙初期の恒星と元素合成を調べるには、様々な金属欠乏星の元素組成解析と恒星進化の理論的理解が不可欠である。また、恒星内部での原子核反応の知識も必要不可欠である。そこで、本年4月発足予定の「北海道大学大学院理学研究院原子核反応データ研究開発センター」において行うべき核反応データの収集・評価に基づく研究の方向について議論し、また、宇宙黎明期の恒星進化研究と協同して研究を進める新たな可能性を模索するため、表記研究会が北海道大学において2月22日(ファカルティハウス「エンレイソウ」第1会議室)、23日(遠友学舎談話室)の両日に渡り開催された。本稿では、プログラムとJCPRGの現状報告のスライドを掲載する。

## 2 プログラム

時間	演題	講師
2/22	<Opening Talk>	
10:30	宇宙黎明期の恒星の研究と宇宙開闢史の解明	藤本 正行(北大理)
10:45	原子核反応データ研究開発センターの発足 < 超金属欠乏星の観測と理論 >	加藤 幾芳(北大理)
11:00	超金属欠乏星の観測	青木 和光(天文台)
12:00	宇宙初期での r-過程元素合成	本田 敏志(天文台)
12:30	昼食	
13:30	超金属欠乏星での爆発的核種合成	梅田 秀之(東大理)
14:15	低・中質量の超金属欠乏星の進化と内部での物質混合	須田 拓馬(東大ピ)
14:45	宇宙黎明期の恒星の質量関数と化学進化	小宮 悠(北大理)
15:15	中・低質量の超金属欠乏星での中性子捕獲による核種合成	西村 高德(北大理)
15:45	コーヒーブレーク < 宇宙物理と原子核反応 >	
16:00	理研 RIBF で期待される元素生成研究への新たな核反応データ	櫻井 博儀(理研)
16:30	超新星ニュートリノと元素合成：ニュートリノの振動、 ガンマ線バースト、初代星との接点	梶野 敏貴(天文台)
17:15	天体光核反応と宇宙核データベース	宇都宮弘章(甲南大)
18:00	懇親会	
2/23	< 宇宙物理と原子核反応 >	
9:00	宇宙の進化と元素の起源を探る天体核物理	久保野 茂(東大理)
9:45	Fission process and the universality of the r-process element abundance	太田 雅久(甲南大)
10:15	恒星における元素合成と関係する天体核反応データの問題点	和田 宏隆(甲南大)
10:45	コーヒーブレーク	
11:00	核反応データ収集活動と元素生成	大塚 直彦(原研)
11:45	核反応率とクラスター模型	加藤 幾芳(北大理)
12:15	昼食 < 超金属欠乏星の観測と理論 >	
13:30	超金属欠乏星のデータベース	須田 拓馬(東大ピ)
14:15	宇宙初期の超新星爆発時におけるダストの形成と破壊	野沢 貴也(北大理)
15:00	金属欠乏星の爆発による軽元素合成	中村 航(東大ピ)
15:20	コーヒーブレーク < 球状星団：表明組成異常の観測と理論 >	
15:35	Deep Mixing & Second Parameter Problem	山田志真子(北大理)
15:55	球状星団 Omega Cen の二重主系列、組成異常、青い水平分枝の起源	須田 拓馬(東大ピ)
16:15	Mg isotope ratio and s-process elements の観測	青木 和光(天文台)
16:35	球状星団の r-process elements の観測 < 討論 >	本田 敏志(天文台)
16:55	まとめ	藤本 正行(北大理)
18:00	閉会	



## 核反応データ収集活動と元素生成

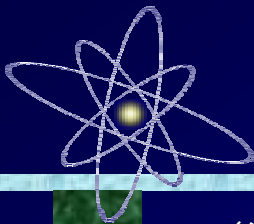
2007年2月23日 北大  
宇宙黎明期の恒星の進化と元素合成過程

大塚直彦

原子力研究機構核データ評価研究グループ  
日本荷電粒子核反応データグループ(JCPRG)

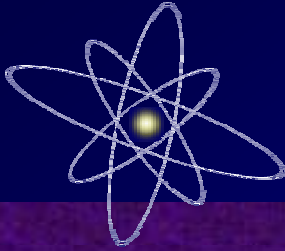
[ohtsuka@nucl.sci.hokudai.ac.jp](mailto:ohtsuka@nucl.sci.hokudai.ac.jp)

<http://www.jcprg.org/>

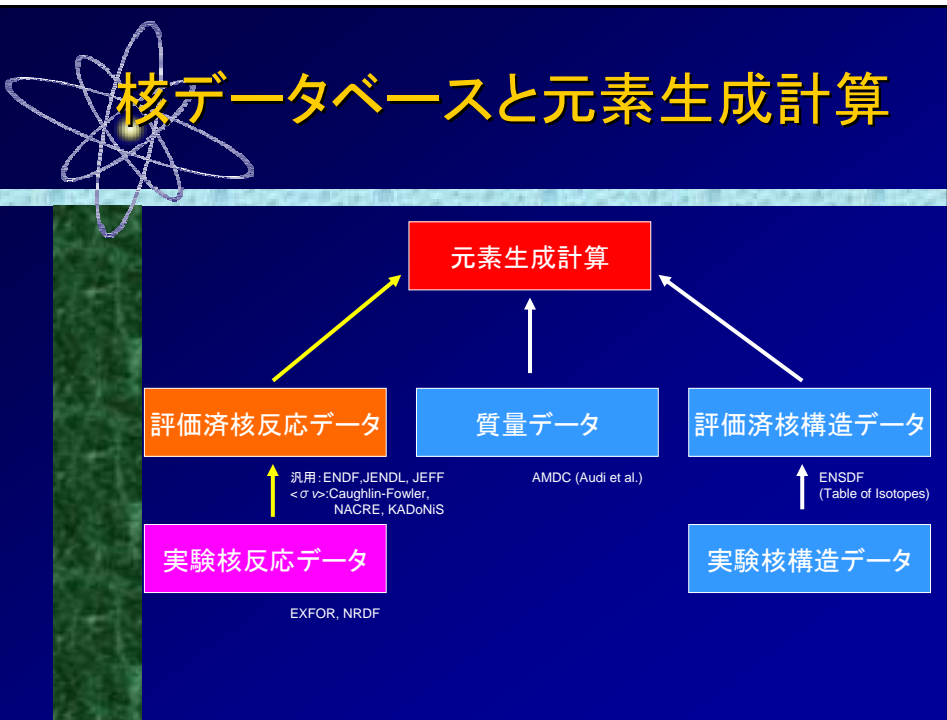


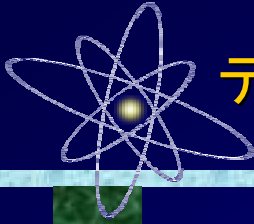
## 目次

- ① (汎用)実験・評価済核データベースとは？
- ② JCPRGのデータ収集活動と国際協力
- ③ 元素合成に関する話題
- ④ データベースへのアクセス
- ⑤ おわりに

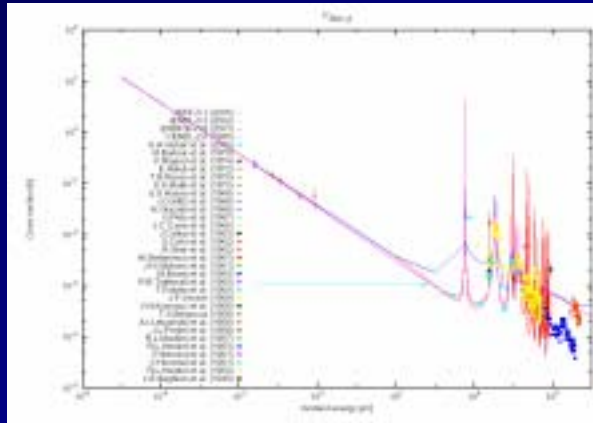


# 1. (汎用)実験・評価済核データベース



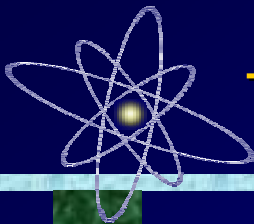


# データベースの例(断面積)



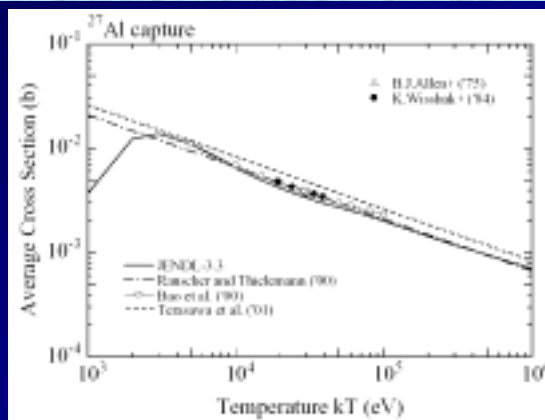
$^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$  の実験・評価済断面積 (EXFOR / ENDF)

<http://www.jcprg.org/exfor/>



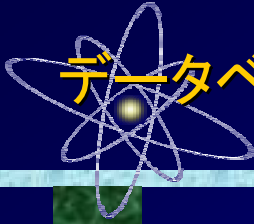
# データベースの例(MACS)

MACS: Maxwellian-Averaged Cross Section



$^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$  のMaxwell平均断面積 - T. Nakagawa et al. (2005)

<http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/nucldata/MACS/>



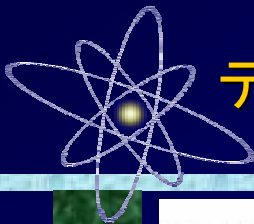
# データベースの例(質量テーブル)

MASS LIST  
for analysis

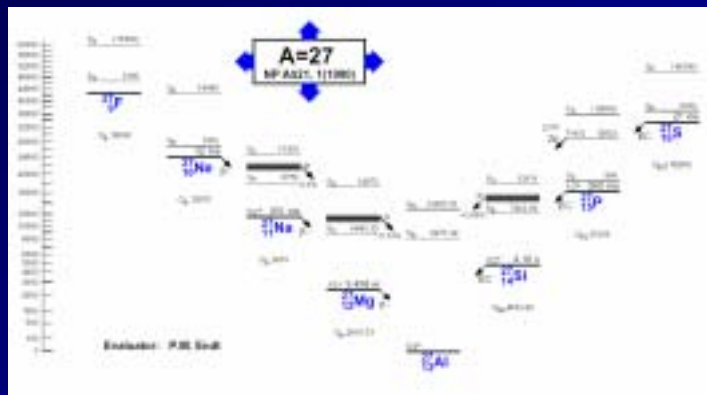
IN-2	N	Z	A	EL	0	MASS EXCESS (keV)	BINDING ENERGY/A (keV)	BETA-DECAY ENERGY (keV)	ATOMIC MASS (micromolar)
0	1	1	0	1	n	8071.31710	0.00050	0.0	1.00866491588
-1	0	1	1	H		7286.97050	0.00011	0.0	1.00782503223
0	0	1	1	2	H	13135.72358	0.00025	1112.280	0.00026
0	1	2	1	3	H	14949.80600	0.00021	2827.266	0.000247
-1	1	2	2	He		14931.21475	0.00242	2372.681	0.00260
-2	0	2	2	Li	pp	28667#	2000#	-2267#	667#
0	2	3	1	4	H	25901.518	102.286	1400.351	25.821
0	2	2	4	He		2824.91365	0.00006	7079.913	0.00000
-2	1	3	4	Li	pp	25325.185	112.132	1153.764	52.033
0	3	4	1	5	H	32892.440	100.000	1326.260	20.000
1	2	2	5	He	pp	11366.193	50.000	5461.132	10.000
-1	2	3	5	Li	pp	11876.866	50.000	5266.132	10.000
-2	1	4	5	Be	pp	37995#	3995#	-154#	799#
0	4	5	1	6	H	41869.757	264.206	963.620	44.151
2	4	2	6	He		17591.106	0.755	4078.017	0.122
0	0	3	6	Li		14066.793	0.015	5332.945	0.002
-2	2	4	6	Be		18274.247	5.448	4487.262	0.908
-4	1	5	6	B	pp	43203#	699#	153#	116#

G.Audi et al., The 2003 Atomic Mass Evaluation

<http://amdc.in2p3.fr/>

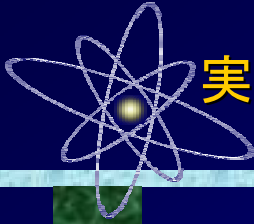


# データベースの例(核構造)

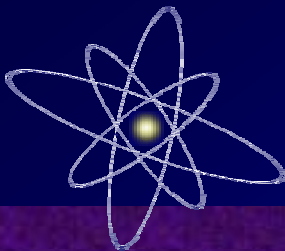
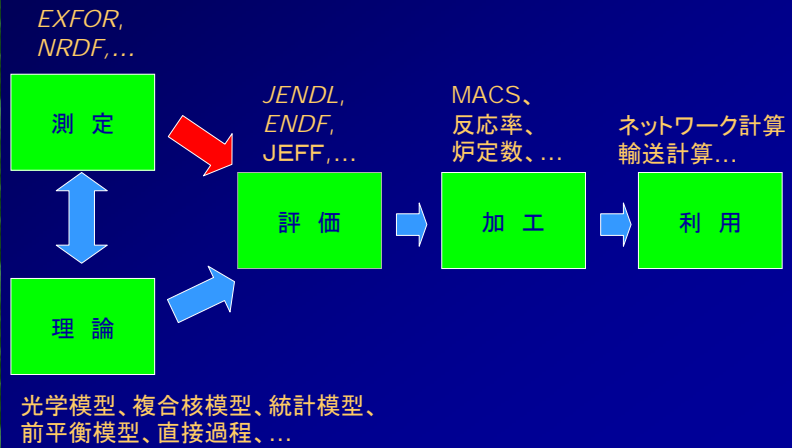


A=27の核構造評価(P.M. Endt et al., 1990 / ENSDF)

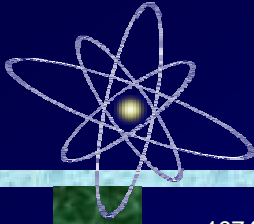
<http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>



# 実験データからデータ利用まで

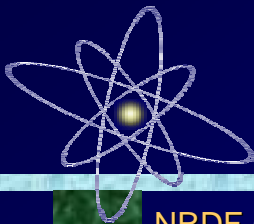


## 2. JCPRGのデータ収集活動と国際協力



## JCPRGの略史

- ◆ 1974:特定研究  
「広域大量情報の高度処理」(~1976.3)
- ◆ 1976:特定研究  
「情報システムの形成過程と学術情報の組織化」(~1979.3)
- ◆ 1980:特定研究  
「我が国における学術情報データベース作成の在り方についての研究」(~1981.3)
- ◆ 1983:試験研究  
「荷電粒子核反応データファイルユーティリティ開発」(~1984.3)
- ◆ 1987:文部省事業費によるNRDF作成事業(~2001.3) 財政安定期
- ◆ 2001:研究成果公開促進費「荷電粒子核反応データファイル」(~2002.3)
- ◆ 2006:研究成果公開促進費「天体核反応データファイル」(~2007.3)



## NRDFとは？

### NRDF (Nuclear Reaction Data File)

#### 荷電粒子核反応データファイル

Oak Ridge National Laboratory (ORNL) による

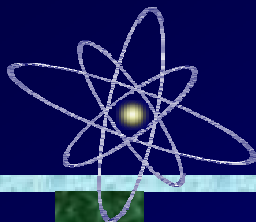
NSDF (Nuclear Structure Data File)を補完するという含み

### データベースのスコープ

- ◆ 内外の陽子入射核反応データ  
(Nuclear Data Sheets (Recent Reference)1985年掲載分迄)
- ◆ 国産荷電粒子核反応データ  
(陽子、軽イオン、重イオン、中間子入射反応)



# データ収集の過程



書誌情報と実験条件の論文からの抽出  
～出版後約1週間

他センターへの送信・レビュー・公開 (~6ヶ月)

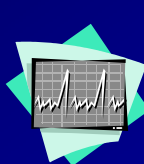


実験家からの数値データ(?)

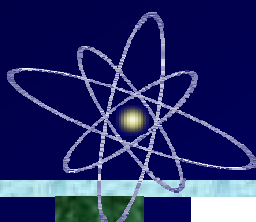
コンパイラー



-チェック  
-著者校正  
(~3ヶ月)



著者から返信がなければグラフを数値化(~2ヶ月)

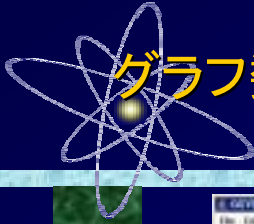


# 数値データ

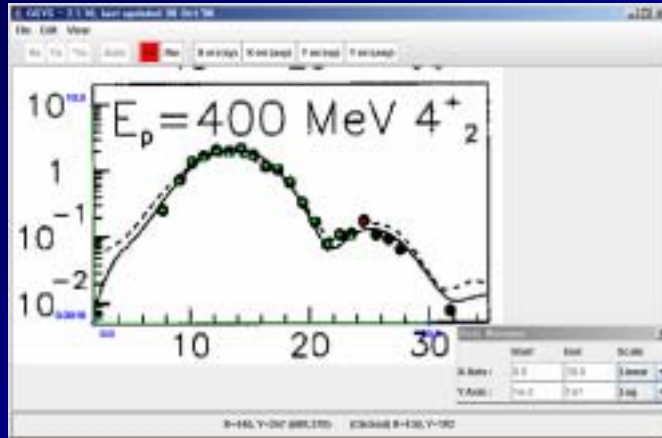
Table 5. Photoneutron yields in units of mb per equivalent quantum from  $^{235}\text{U}$

Neutrons	Cs					Ba							I				
	112	116	120	124	128	116m	120m	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160
0.00100	6.88	21.0	32.6	62.6	476	17.9	6.74	36.6	59.6	2.89	26.1	46.0	12.4	23.9	11.6	11.6	11.6
0.00125	69.3	184	271	1247	107	94.9	186.4	303.7	589.4	198.9	189.1	122.7	126.1	483.7	58.4	58.4	58.4
0.0175	97.4	1.08	3.1	11.8	34	1.86	6.29	40.5	76.9	46.4	2.74	17.8	99.0	14.8	14.8	14.8	14.8

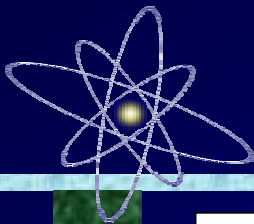
核物理の論文ではこのような数値データが報告されないことが多い。



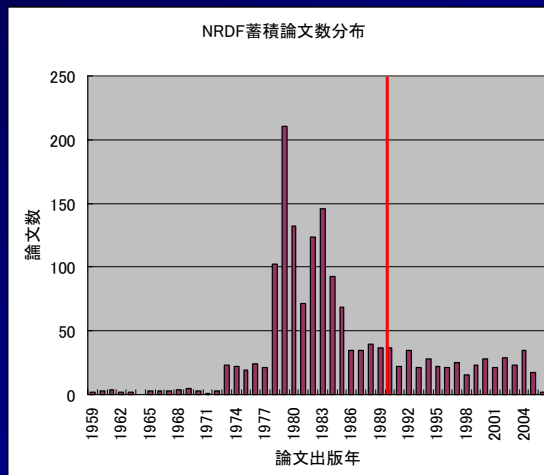
# グラフ数値読取りシステム - GSYS



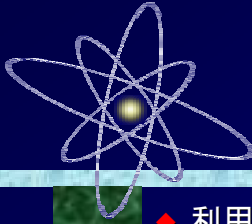
近江・新井・鈴木・伊藤      ダウンロード: <http://www.jcprg.org/> (無料!!)



# NRDFの蓄積論文数分布



年間約30編



# NRDFの長所

- ◆ 利用分野を特定しない **柔軟な格納書式**

原子力・医療: 断面積 (終状態の変数に関して積分されている)

$\sigma(E)$  入射エネルギーのみの関数

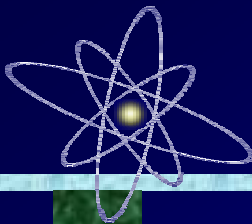
原子核物理: 微分断面積

$\sigma(E; \theta)$ ,  $\sigma(E; \theta, E')$ ,  $\sigma(E; \theta_1, \theta_2)$ , ...

(入射エネルギー以外の様々な変数を持つ関数)

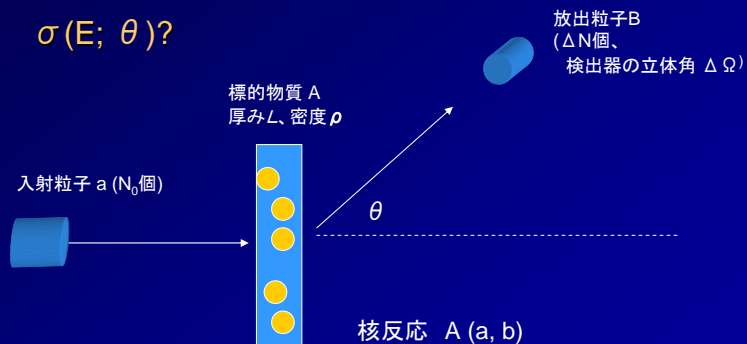
- ◆ データベースの **仕様の独自策定**

新しい物理量への拡張、処理系の設計。。



# 微分断面積 (角度分布)

$\sigma(E; \theta)?$

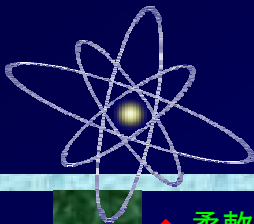


単位立体角辺りの散乱の割合  $\sigma(E; \theta) = \Delta N / \Delta \Omega / L \rho N_0$



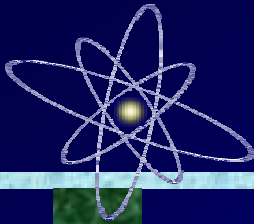
## 核反応データベースの守備範囲

- ◆ 断面積
- ◆ 角度微分断面積 ( $d\sigma/d\Omega$ )
- ◆ エネルギー微分断面積 ( $d\sigma/dE$ )
- ◆ 二重微分断面積 ( $d\sigma/d\Omega/dE$ )
- ◆ 偏極物理量(偏極分解能、偏極移行)
- ◆ 残留核生成量
- ◆ 核分裂収量
- ◆ 厚い標的からの収量
- ◆ 厚い標的からの微分収量
- ◆ 共鳴パラメータ
- ◆ 共鳴積分
- ◆ 反応率
- ◆ 即発 $\gamma$ 線スペクトル
- ◆ ...



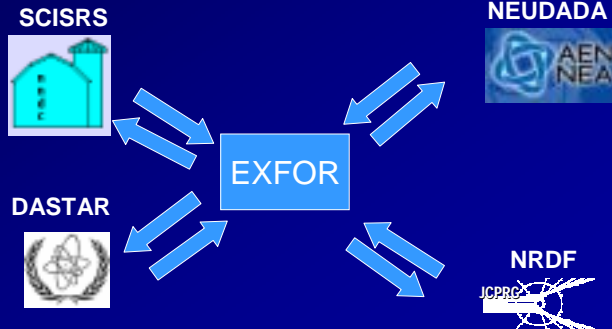
## NRDFの短所

- ◆ **柔軟すぎる書式やコード体系**  
処理系の作成がとても大変 (使えないデータベースに意味なし)
- ◆ **一貫性のないコーディング**  
例: 同じ物理量が同じ物理量コードになっているとは限らない  
角度分布の表現: ANGL-DSTRN, DSIGMA/DOMEGA, ...
- ◆ **国産荷電粒子データという収集範囲の設定**

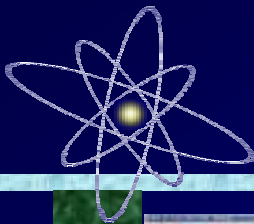


# EXFORへの変換

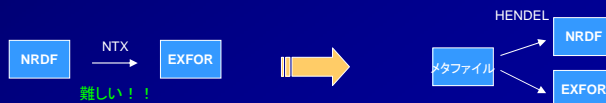
EXFOR: EXchange FORmat  
データセンター間でのデータ交換用フォーマット

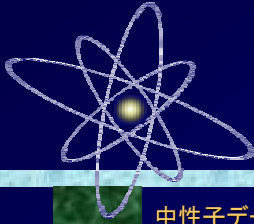


各センターは受け取ったファイルを独自のデータベースに登録して配布



# 入カシステム - HENDEL





## データ交換の略史(1)

### 中性子データ収集活動

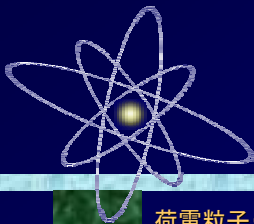
- ◆ 1961: Sigma Center (米・ブルックヘブン)
- ◆ 1963: Information Centre on Nuclear Data (露・オブニンスク)
- ◆ 1964: Centre de Compilation de Données Neutroniques (仏・サクレイ)
- ◆ 1964: IAEA Nuclear Data Unit (奥・ウィーン)

### 中性子データ交換

- ◆ 1964: Sigma Center と CCDNの間での交換開始
- ◆ 1965: IAEAがデータ交換に参加
- ◆ 1966: 4センターネットワークの誕生
- ◆ 1969: EXFORをデータ交換書式に採用



中性子断面積データ集BNL325  
いわゆる「パーンブック」



## データ交換の略史(2)

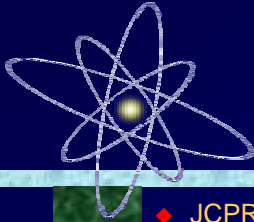
### 荷電粒子・光核データの収集活動

- ◆ 19??: KFK Charged Particle Data Group (独、カールスルーエ)
- ◆ 1973: Centr Atomnykh i Jadernykh Dannyykh (露、モスクワ)
- ◆ 1974: Japanese Study Group (日)
- ◆ 1975: 荷電粒子・光核データセンターネットワークの発足

### 核反応データセンターネットワーク (NRDC)

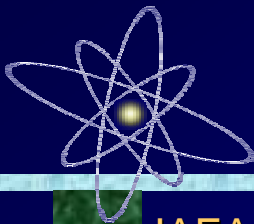
- ◆ 1976: 核反応データセンターネットワークの発足
- ◆ 1980: 光核反応実験データセンター(露、モスクワ)の参加
- ◆ 1981: カールスルーエグループ (KaChaPaG)が活動終了
- ◆ 1983: 理研核データグループ参加

...



## 国内のデータセンター

- ◆ **JCPRG (荷電粒子核反応データの収集, 1974~)**
  - 国産荷電粒子核反応データの **NRDF** と **EXFOR** への採録
  - **NRDF** と **EXFOR** の配布
  - 国内荷電粒子核反応出版物(PTP, JPSJ, JNST, JRNS)書誌情報の **CINDA** への採録
  - 国産光核反応データの **NRDF** と **EXFOR** への採録 (2006~)
- ◆ **JAEA-NDC (中性子核反応データの評価、核構造評価, 1964~)**
  - 中性子核反応データ評価済データライブラリ **JENDL** の作成
  - 核構造データの **ENSDF** のための評価 (A=118-129)
  - 国内中性子核反応出版物(PTP, JPSJ, JNST) 書誌情報の **CINDA**への採録
- ◆ **理研 (医療用核反応データの収集、核構造評価, 1983~2000)**
  - 医療用同位体生成20核種生成断面積の **EXFOR** への採録
  - 核構造データの **ENSDF** のための評価 (A=118-129)
  - 国内核反応二次文献書誌情報の **NSR** への採録

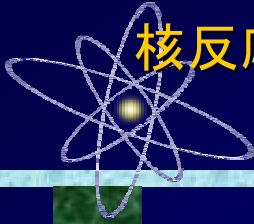


## 国際協力

### IAEAが調整するネットワーク

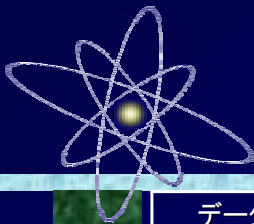
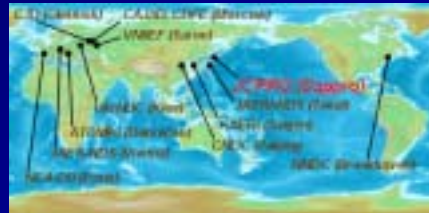


- ◆ **核反応データセンターネットワーク (NRDC)**  
核反応データの **EXFOR** と **CINDA** への採録 (13センター)
- ◆ **核構造崩壊データセンターネットワーク (NSDD)**  
核構造崩壊データの **ENSDF** のための評価 (16センター)



# 核反応データセンターネットワーク (NRDC)

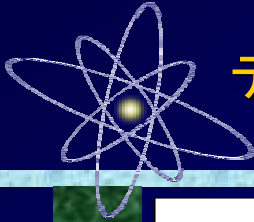
-  NNDC
-  NEA-DB
-  IAEA-NDS
-  CJD CAJaD CDFE CNPD
-  ATOMKI
-  CNDC
-  JCPRG JAEA-NDC
-  KAERI -NDEL
-  UkrNDC
-  BARC (加盟予定)



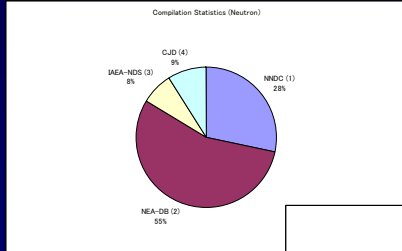
# データ収集の責任分担

データセンター	地域分担 (中:中性子、電:荷電粒子)
NNDC	北米(中・電)
NEA-DB	OECD加盟国(中)
IAEA-NDS	「その他の国」(中・電)
CJD	ロシア(中)
CAJaD	ロシア(電)
CDFE	「全世界」(光)
CNDC	中国(中・電)
JCPRG	日本(電・光)
ATOMKI	デブレツェン・ユーリッヒ・ブリュッセル(電)
UkrNDC	ウクライナ(中・電・光)
CNPD	軽い核の荷電粒子反応(他センターと調整)



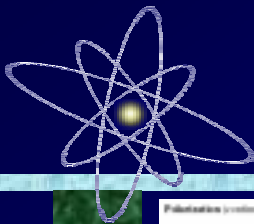
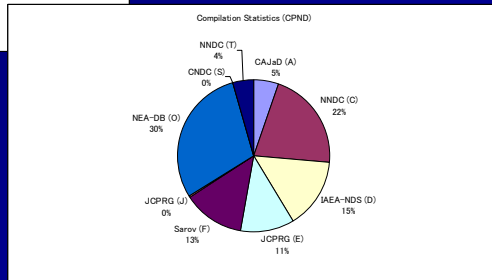


# データ採録統計 (2003-2006)



中性子入射核反応データ  
センターID=1,2,3,4

荷電粒子核反応データ  
(日本の寄与は約10%)  
E:国産荷電粒子データ  
J:中間子・反陽子データ  
K:光核データ  
R:旧理研収集データ



# コード体系の定義

**Polarization (continued)**

**Angular Momentum** the relative difference in the cross sections for corresponding spin up or spin down.

**Center-of-mass system:**  $\text{Frame } A_{CM} \text{ or } B_{CM}$

**Reaction Coding:**  $AB_{CM} \rightarrow CD_{CM}$

**Example:**  
 ${}^{16}\text{O}(\alpha, n){}^{19}\text{F}$  Analyzing power,  $A_n$  incident projectile spin normal to scattering plane.  
 ${}^{16}\text{O}(\alpha, p){}^{17}\text{O}$  Analyzing power,  $A_p$  incident projectile spin parallel to scattering plane (independent of spin).

**Center-of-mass system:**  $\text{Frame } A_{CM} \text{ or } B_{CM}$  relative spin orientation parameters.  
 $A_n \rightarrow \sigma_{up} - \sigma_{down}$

**Reaction Coding:**  $AB_{CM} \rightarrow CD_{CM}$ , and a branch code in 5th group:  $AB_{CM} \rightarrow CD_{CM} \rightarrow E$

**Example:**  
 ${}^{16}\text{O}(\alpha, n){}^{19}\text{F}$  Frame analyzing power,  $A_n$  incident projectile and target spins relative scattering plane.

**Spin Correlation Parameters:**  $\rho_{ij}$  for  $F_{ij}$  of final spin/orbit correlation parameters.  
 Convention:  $\rho_{ij} = \rho_{ji}$

$$F_{ij} = \frac{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) - \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) - \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}$$

$$F_{ij} = \frac{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) - \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) - \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}$$

**Center-of-mass, relative scattering plane:**

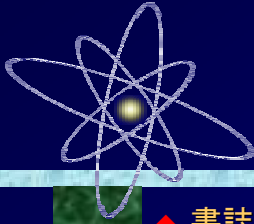
$$F_{ij} = \frac{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) - \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) - \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}{\sigma_{ij}(\uparrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\uparrow, \downarrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \uparrow) + \sigma_{ij}(\downarrow, \downarrow)}$$

## LEXFOR "Polarization"



NRDC会合 2004  
(@ NNDC)

格納の範囲や方法に関してセンター間の同意が必要となる。

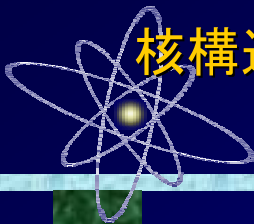


# NRDCの成果物

- ◆ 書誌データベース  
CINDA
- ◆ 実験核データベース  
EXFOR  
NRDF
- ◆ 評価済核データベース  
ENDF  
JENDL  
JEFF

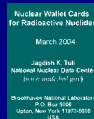


交換されたデータは各センターの責任で公開

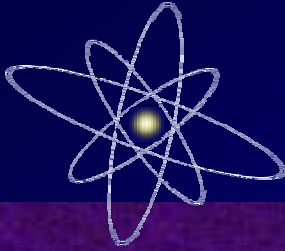


# 核構造データセンターネットワーク (NSDD)

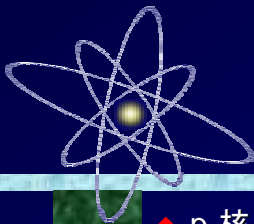
- NNDC ORNL LBNL INEL TUNL ANL
- IIT
- St. Petersburg
- Utrecht
- CNDC
- CEN
- JAEA-NDC
- Lund
- Kuwait
- Gent
- Ontario



各センターごとに質量数の範囲を分担

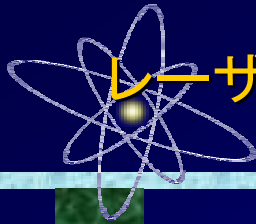


### 3.最近の活動から

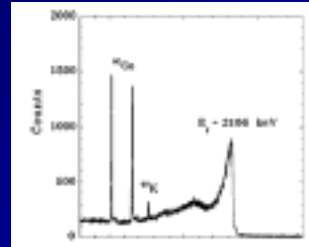
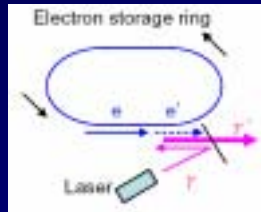


## 元素生成と光核反応

- ◆ p-核 の生成
- ◆ 超新星爆発時の元素生成
- ◆ ビッグバンにおける元素生成
- ◆ ...

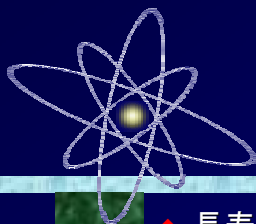


# レーザー逆コンプトン(LCS)光源



産総研 **TERAS**  
電子リング: 300~600 MeV  
レーザー: 1053 nm (1.2 eV)

LCSのスペクトルの1例  
(H. Utsunomiya et al.,  
[PR/C.63\(2001\)018801](#))

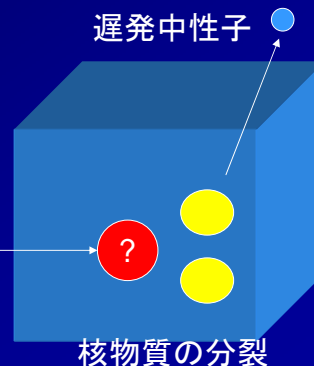


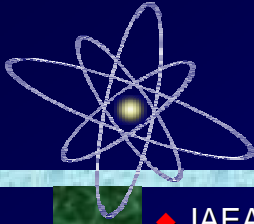
# 天体核以外での光核反応

- ◆ 長寿命核分裂生成物(LLFP)の分離変換処理
- ◆ 核不拡散と光核分裂反応 (Homeland Security)



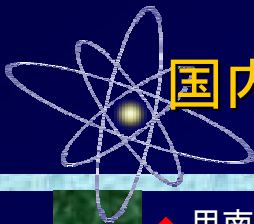
$\gamma$ 線





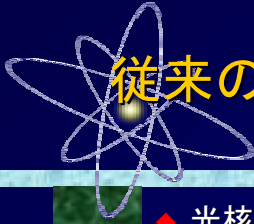
## 評価済光核データ

- ◆ IAEA Photonuclear Data Library (2000)  
(164核種、~140 MeV)
- ◆ JENDL/PD-2004 (2004)  
(68核種、~150 MeV)
- ◆ ENDF-B/VII.0 (2006)  
(163核種、~140 MeV)



## 国内における光核データ測定

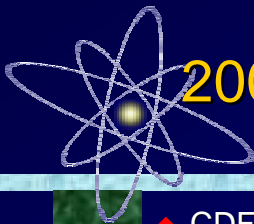
- ◆ 甲南大(宇都宮)、阪大(永井)、原研(原田)...  
レーザー逆コンプトン光(LCS)による断面積測定
- ◆ 金沢大(坂本)、核研(柴田)...  
制動放射光による30 MeV ~ 1.2 GeVの断面積測定
- ◆ 東北大核理研グループ
- ◆ ...



## 従来の光核反応データの収集体制

- ◆ 光核データはCDFE (露) が部分的に採録  
(グラフで掲載されているものは読取り)

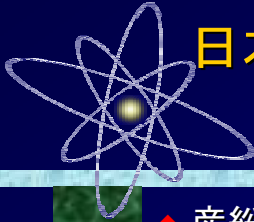
光核データに関するEXFORの従来のプロトコル:  
*No obligation for completeness*



## 2006年NRDC会合後の体制

- ◆ CDFE (露) が中心的に収集・調整
- ◆ NNDC (米) もCDFEとの調整のもとに収集
- ◆ JCPRGは日本の光核データを分担収集
- ◆ UkrNDC (ウクライナ) も自国のデータを収集

光核データに関するEXFORの改訂のプロトコル:  
*Compilation is highly recommended.*  
*Completeness should be achieved in particle for photo-neutron and photo-fission data.*



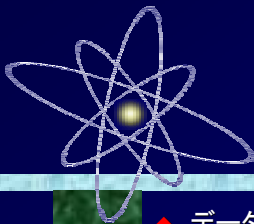
# 日本からの最初のファイル送信 (2007.2.10)

- ◆ 産総研LCSの5編の論文の採録を送信  
(2007.2.10)
- ◆ お祝い:

*I would like to congratulate you and all of us with the first TRANS of K-series! I hope we will have more and more photonuclear data in EXFOR.* (V. Varlamov, CDFE)

*congratulations for your first photonuclear TRANS file. This is a very valuable new activity.* (O. Schwerer, IAEA)

*I was pleased to learn that you started with photonuclear compilations, I always felt uneasy that so many photonuclear papers remained uncompiled. I want to encourage you to continue in this useful work.* (P. Oblozinsky, NNDC)



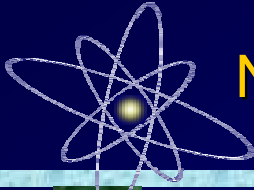
# NRDF/A

- ◆ データベースを検索するのは面倒
- ◆ 測定の現状をざっとみたい → 断面積の再評価

➡ NRDF/A : 天体核データファイル  
2006年度( $n, \gamma$ ) ( $\alpha, \gamma$ )から31反応について作成

Data ID	Reaction	# of points	Data File
AM000	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM001	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM002	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM003	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM004	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM005	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM006	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM007	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM008	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM009	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM010	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM011	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM012	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM013	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM014	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM015	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM016	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM017	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM018	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM019	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM020	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM021	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM022	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM023	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM024	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM025	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM026	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM027	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM028	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM029	$^{12}\text{C}(n,p)^{11}\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>
AM030	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{B}$	1	<a href="#">Data File</a>

データとグラフへのリンク



# NRDF/Aの例 $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$

```

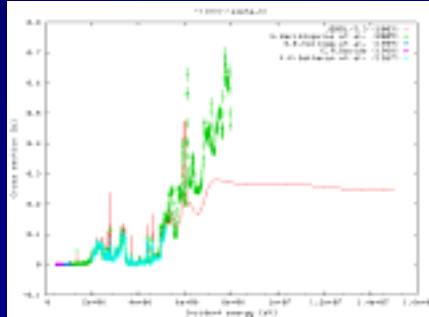
#NBIB:
DB      A0005
DATE    2006-12-09
RCI     13C(A,N)16O
PHI     SIGMA
REF     [HA2005] S.Harissopoulos et al., Phys.Rev.C72(2005)10G2801
REF     [KE1989] S.E.Kailfouz et al., Bull.Lam.Phys.Osc.34(1989)1192(E10.5)
REF     [DA1988] C.N.Davids, Nucl.Phys.A110(1988)619
REF     [SE1967] K.K.Sekharan et al., Phys.Rev.156(1967)1187
COM     EXFOR A0619.003 (EN-CN vs SIGMA) should be added.

```

```

#VDATA:
EV-MIN  EV      EN-MAX  SIGMA  ERR-T  ERR-S  REF
EV
7.5700E+05  7.6700E+05  2.8000E-06  1.0400E-07  -  HA2005
7.8600E+05  7.8600E+05  3.3000E-06  1.3200E-07  -  HA2005
8.0700E+05  8.0700E+05  5.1000E-06  2.0400E-07  -  HA2005
8.2800E+05  8.2800E+05  7.2000E-06  2.8800E-07  -  HA2005
8.4800E+05  8.4800E+05  1.0800E-05  4.3200E-07  -  HA2005
8.6800E+05  8.6800E+05  1.4300E-05  5.7200E-07  -  HA2005
8.8800E+05  8.8800E+05  2.0200E-05  8.0800E-07  -  HA2005
9.0800E+05  9.0800E+05  2.8700E-05  1.148E-06  -  HA2005
9.2800E+05  9.2800E+05  3.8400E-05  1.536E-06  -  HA2005
9.4800E+05  9.4800E+05  5.3200E-05  2.128E-06  -  HA2005
9.6800E+05  9.6800E+05  7.4000E-05  3.024E-06  -  HA2005
9.7800E+05  9.7800E+05  9.9300E-05  3.572E-06  -  HA2005
9.8500E+05  9.8500E+05  1.0100E-04  4.040E-06  -  HA2005
9.9400E+05  9.9400E+05  1.1600E-04  4.640E-06  -  HA2005
1.0050E+06  1.0050E+06  1.5200E-04  6.0800E-06  -  HA2005
1.0180E+06  1.0180E+06  1.6400E-04  6.560E-06  -  HA2005
1.0250E+06  1.0250E+06  1.8800E-04  7.560E-06  -  HA2005
1.0300E+06  1.0300E+06  2.0800E-04  8.380E-06  -  HA2005
1.0480E+06  1.0480E+06  4.6100E-04  1.844E-05  -  HA2005
1.0500E+06  1.0500E+06  8.5000E-04  3.400E-05  -  HA2005
1.0520E+06  1.0520E+06  2.0300E-03  8.120E-05  -  HA2005
1.0530E+06  1.0530E+06  4.5300E-03  1.812E-04  -  HA2005
1.0540E+06  1.0540E+06  8.7700E-03  3.508E-04  -  HA2005

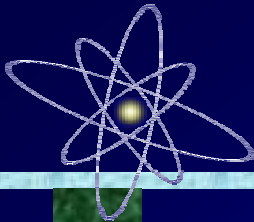
```



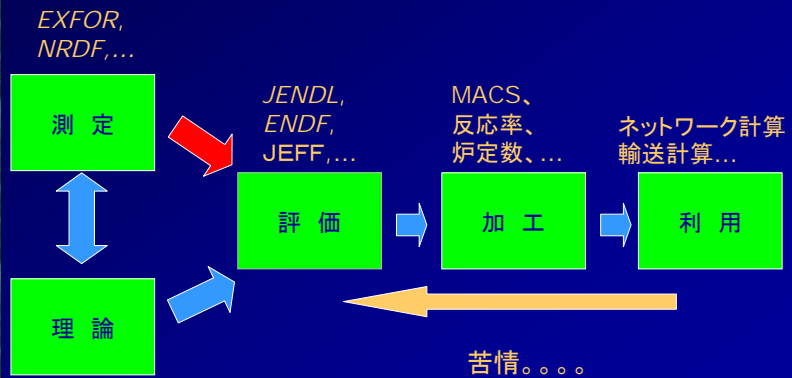
グラフ

データ

<http://www.jcprg.org/nrdfa/>

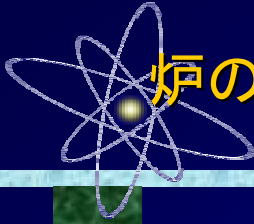


# 核データと感度解析

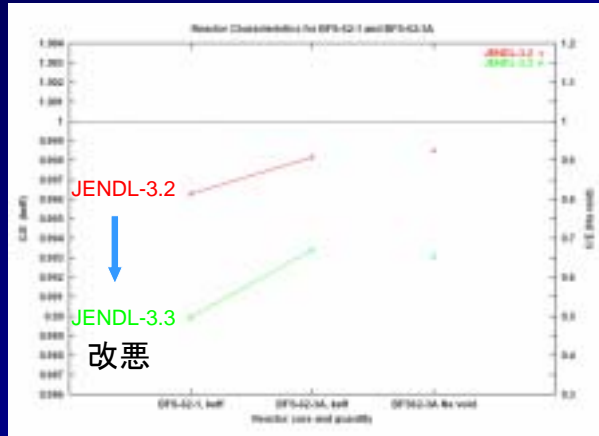


光学模型、複合核模型、統計(HF)模型、前平衡模型、直接過程、...

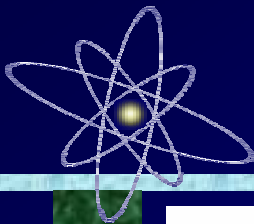




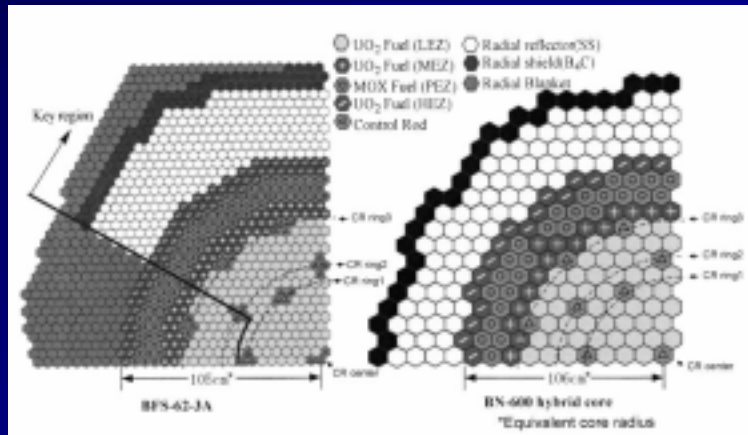
# 炉の物理量の核データ依存例



横軸: 核特性の種類 (keff: 中性子実効増倍率、Na void: Naボイド反応度)  
 縦軸: 計算値/実験値

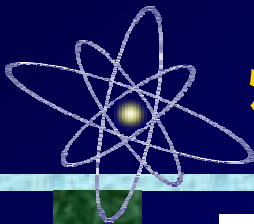
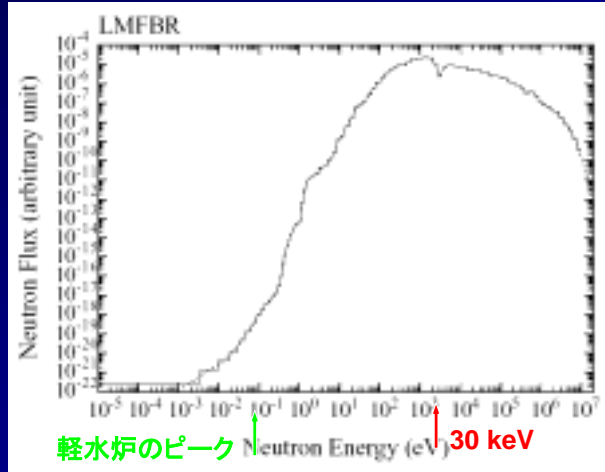


# BFS-62-3A 臨界集合体

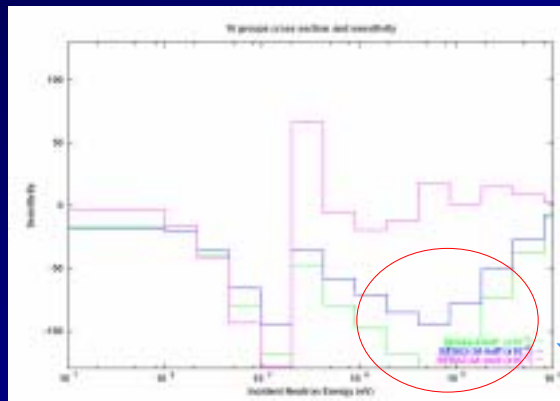




# 高速炉内での中性子エネルギー分布

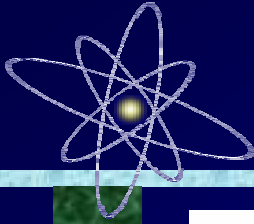


# 炉の物理量の断面積感度

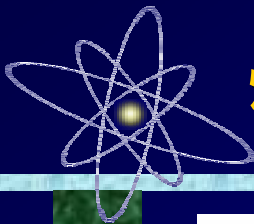
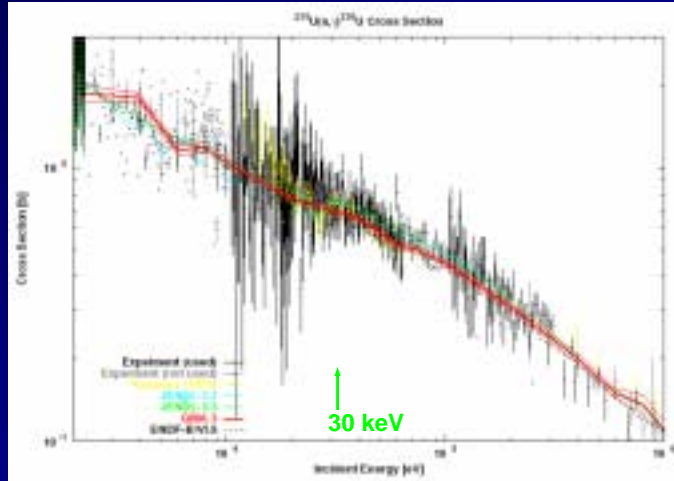


相対感度  $S_i$ : 断面積  $\sigma_i$  の変化の  $1$  への影響

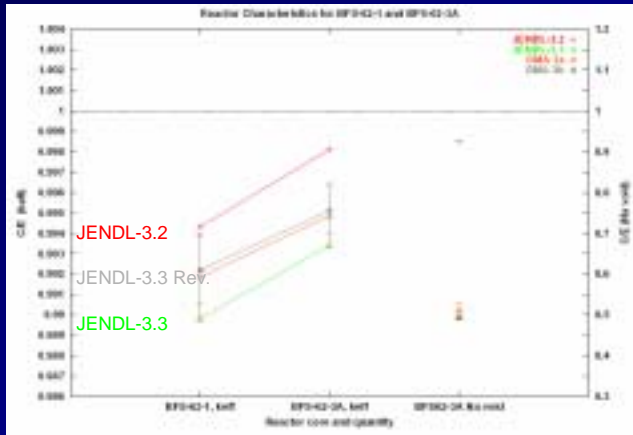
$$\frac{\Delta I}{I} = \sum_i S_i \frac{\Delta \sigma_i}{\sigma_i}$$

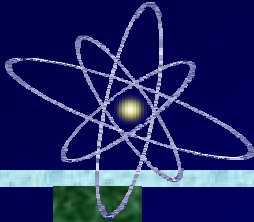


# 評価済断面積の改訂例



# 炉の物理量の予測性向上





# 感度解析システム

安全審査や設計裕度の見積もり:

断面積の誤差の核特性への伝搬を知ることが重要

評価済断面積誤差  $\Delta \sigma_i$  のデータベース

× 感度係数データベース

→ 炉物理量  $I$  の精度決定

$$\frac{\Delta I}{I} = \sum_i S_i \frac{\Delta \sigma_i}{\sigma_i} + \sum_{i \neq j} S_i S_j \rho_{ij} \frac{\Delta \sigma_i}{\sigma_i} \frac{\Delta \sigma_j}{\sigma_j}$$

鈴木・大塚



# 天体核評価済データライブラリ

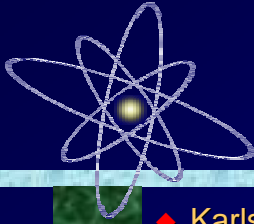
- ◆ Cauglan-Fowler [1]
- ◆ NACRE (Brussels) [2]
- ◆ KADoNiS (Karlsruhe) [3]
- ◆ JENDL-3.3-MACS [4]
- ◆ ...

[1] G.R. Cauglan, W.A Fowler., At. Data Nucl. Data Tables 40(1988)283

[2] Angulo et al., Nucl. Phys. A656(1999)3

[3] Z.Y. Bao et al., At. Data Nucl. Data Tables, 75 (2000)1

[4] Z.Y. Bao et al., At. Data Nucl. Data Tables, 76(2000)70



## $\langle \sigma v \rangle / v_T$ の核データ評価

### ◆ Karlsruhe 流

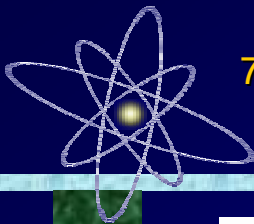
#### 測定で得られたMaxwell平均断面積を評価

- 1)  $kT=25$  MeVの中性子を用いた捕獲断面積を測定
- 2) 実験中性子スペクトルで畳み込んだ評価済データライブラリ  $\sigma(E)$ 等との比較から規格化因子(NF)を決定
- 3) 規格化された評価済データライブラリから $\langle \sigma v \rangle / v_T$ を決定

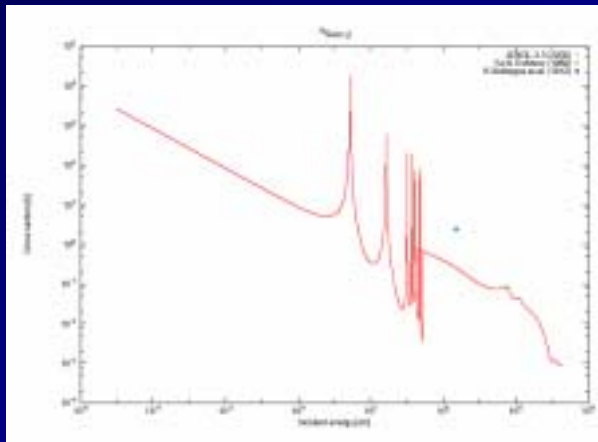
### ◆ 原研 流

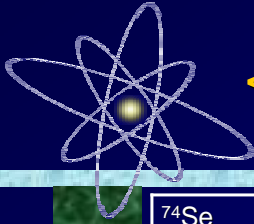
#### 断面積 $\sigma(E)$ を直接Maxwellスペクトルで畳み込み

$$\frac{\langle \sigma v \rangle}{v_T} = \langle \sigma \rangle_{kT} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\int_0^{\infty} \frac{\sigma(E_n)}{NF} E_n e^{-E_n/kT} dE_n}{\int_0^{\infty} E_n e^{-E_n/kT} dE_n}$$



## $^{74}\text{Se}(n, \gamma)^{75}\text{Se}$ の核データ

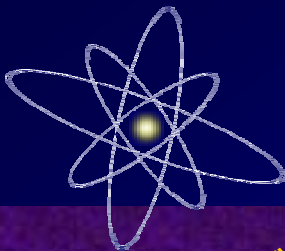




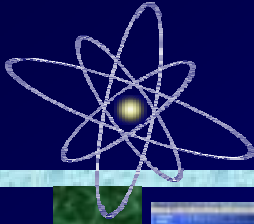
## $\langle \sigma v \rangle / v_T$ の評価例 ( $^{74}\text{Se}$ )

$^{74}\text{Se}$	$\langle \sigma \rangle_{30}$ (mb)	Ratio to JENDL-3.3
Bao <i>et al.</i> (2000)	267 (25)	1.28
NON-SMOKER (2001)	207	1.00
MOST (2005)	304	1.46
JENDL-3.3 (2002)	208	1
Dillmann <i>et al.</i> (2006)	271 (15)	1.30

天体観測量を用いた積分検証ができる面白い？



## 4. データベースへのアクセス



# EXFORへのアクセス



JCPRG

須田・合川・大塚ほか



IAEA-NDS

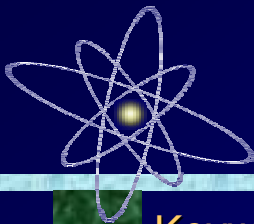


NNDC



NEA-DB

80,000~90,000 検索 / 年

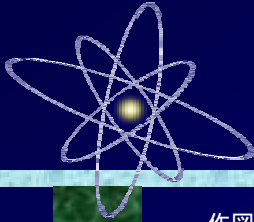


# $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ の検索の例

Keywords:

- ◆ Target “c-13”
- ◆ Projectile “a”
- ◆ Emission ”n”
- ◆ Physical quantity “cs”
- ◆ Horizontal axis “EN”
- ◆ Vertical axis “DATA”





# 検索結果

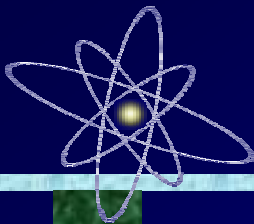
作図ボタン

Plot	Author	Year	Inc. energy (eV)	Work	Type	Reference	Library	Data ID
6.C.13(A)00 0.16, 516 (Cross section)								
☑	T Murata	2003	1.0e+05	1.5e+07	Eval	JENDL/AH-2005,20040_1,2003	JENDL-3.3	0076.03.004
☑	S Hameedpour et al.	2006	7.7e+05	8.0e+06	Expt	<a href="#">Phys Rev C 73(2):025801(2006)</a>	EXFOR	41096.034
☑	S E Kadioglu et al.	1988	4.5e+05	1.0e+06	Expt	<a href="#">Bull Am Phys Soc 33(1988):1180(1988)</a>	EXFOR	20170.000
☑	C N Davids	1968	4.0e+05	7.0e+05	Expt	<a href="#">Nucl Phys A 118(1968):629</a>	EXFOR	20034.054
☑	K K Sakhran et al.	1967	2.0e+05	5.2e+05	Expt	<a href="#">Phys Rev 156(1967):1182</a>	EXFOR	20130.000
☐	6.C.13(A)00 0.16, 516, TT06L (Cross section for thick target relative data)							
☐	S Hameedpour et al.	2006	1.0e+06	1.4e+08	Expt	<a href="#">Phys Rev C 73(2):025801(2006)</a>	EXFOR	41096.034

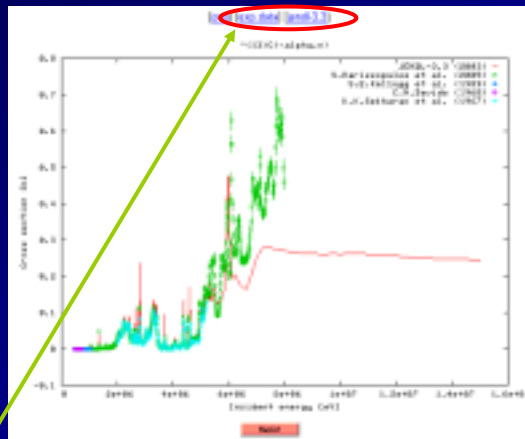
Add your data?   (Label Expt data only)

オンラインジャーナルへのリンク

EXFORソースへのリンク

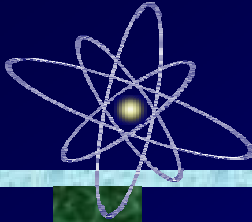


# 断面積の作図



数値データへのリンク





# 数値データファイル

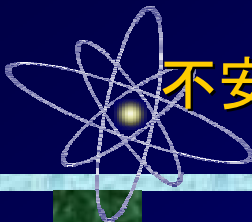
```

# Reference: S.E.Kellogg et al.  Bull. Am. Phys. Soc. 34(1989)1192(E10.5)
# Data ID : Q3517002
#
# EN          EN          DATA      +ERR-S      -ERR-S
# EV          EV          B          B          B
#
1.045000E+08 1.045000E+08 2.373400E-04 2.164200E-08 2.164200E-08
9.897700E+05 9.897700E+05 1.251800E-04 6.293000E-07 6.293000E-07
9.500000E+05 9.500000E+05 5.897500E-05 2.898000E-07 2.898000E-07
9.908300E+05 9.908300E+05 2.335000E-05 1.516000E-07 1.516000E-07
8.501000E+05 8.501000E+05 1.127400E-05 9.859000E-08 9.859000E-08
7.989300E+05 7.989300E+05 4.501700E-08 2.218100E-08 2.218100E-08
7.489700E+05 7.489700E+05 1.081800E-06 1.275200E-08 1.275200E-08
7.000100E+05 7.000100E+05 6.909000E-07 3.127900E-09 3.127900E-09
6.487800E+05 6.487800E+05 2.214800E-07 2.051400E-09 2.051400E-09
6.061200E+05 6.061200E+05 7.191700E-08 1.048000E-09 1.048000E-09
5.498400E+05 5.498400E+05 2.019200E-08 4.795400E-10 4.795400E-10
4.899700E+05 4.899700E+05 4.542000E-09 1.957900E-10 1.957900E-10
4.499800E+05 4.499800E+05 7.692800E-10 6.741400E-11 6.741400E-11

# Reference: C.N.Davids  Nucl. Phys. A110(1968)3619
# Data ID : F9204004
#
# EN          EN          DATA      +DATA-ERR  -DATA-ERR
# EV          EV          B          B          B
#
4.750000E+05 4.750000E+05 2.930000E-09 0 0
5.000000E+05 5.000000E+05 6.920000E-09 0 0
5.250000E+05 5.250000E+05 1.490000E-09 0 0
5.500000E+05 5.500000E+05 3.100000E-09 0 0
5.750000E+05 5.750000E+05 6.120000E-09 0 0
6.000000E+05 6.000000E+05 1.190000E-07 0 0
6.250000E+05 6.250000E+05 2.110000E-07 0 0
6.500000E+05 6.500000E+05 3.710000E-07 0 0
6.750000E+05 6.750000E+05 6.920000E-07 0 0
7.000000E+05 7.000000E+05 1.047000E-06 0 0

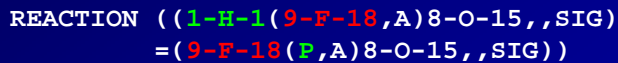
# Reference: K.K.Sekharan et al.  Phys. Rev. 156(1967)1187
# Data ID : P0132002
#
# EN          EN          DATA      +DATA-ERR  -DATA-ERR
# EV          EV          B          B          B
#
2.000000E+08 2.000000E+08 1.700000E-02 8.700000E-03 8.700000E-03
2.020000E+08 2.020000E+08 2.280000E-02 9.700000E-03 9.700000E-03
2.040000E+08 2.040000E+08 2.920000E-02 9.700000E-03 9.700000E-03
2.070000E+08 2.070000E+08 3.900000E-02 8.700000E-03 8.700000E-03

```



# 不安定核ビームデータの格納

<sup>18</sup>F ビームの水素標的に対する断面積の例

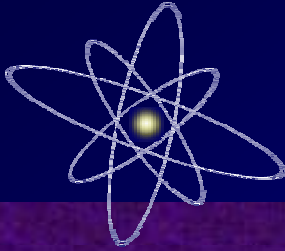


```

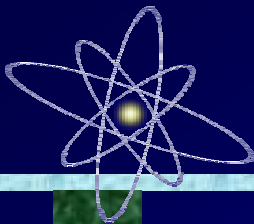
.....
EN-CM      DATA      DATA-ERR
KEV        MB          MB
3.226E-01  3.893E-01  1.762E-01
3.717E-01  1.476E-01  9.296E-02
.....

```



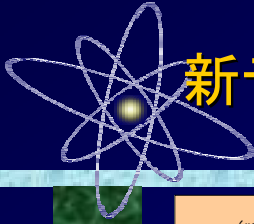


## 5.おわりに

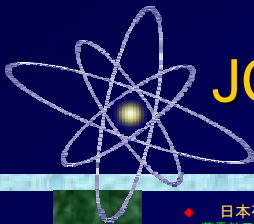
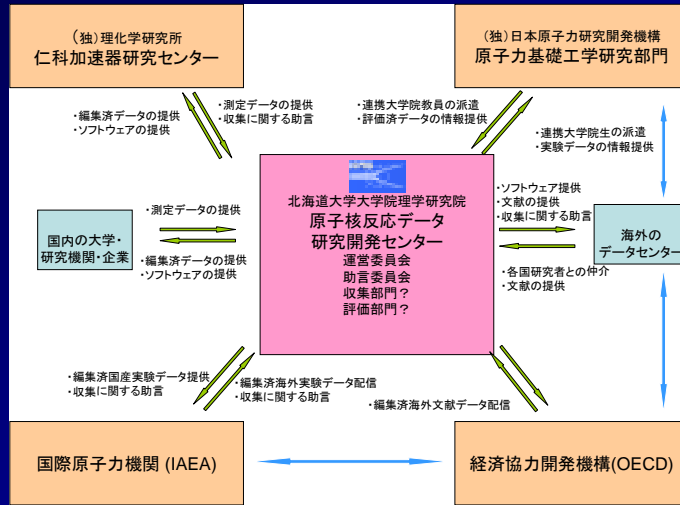


## 今後の課題

- ◆ データベースの利用者の裾野の拡張(使われるデータベース)
- ◆ 荷電粒子のデータグループの伝統を生かしたデータ評価活動
- ◆ データベースへのアクセスの改善(検索・作図機能の強化)
- ◆ バックログの解消(特に荷電粒子、光核反応データ)
- ◆ (そんなに多くなくても良いから)安定した財源・人員



# 新データセンターの位置づけ



# JCPRGとNRDCのメンバー

## ● 日本荷電粒子核反応データグループ (JCPRG)

### 荷電粒子核反応データファイル助言委員

阿部恭久 (RCNP), 赤石義紀 (理研/日大), 青木保夫 (筑波), 馬場護 (東北大), 千葉順成 (理科大), 長谷川明 (NEA-DB), 畑中吉治 (RCNP), 石原正泰 (理研), 加藤幾芳 (北大), 片倉純一 (原子力機構), 河合光路 (九大), 久保野茂 (CNS), 森信俊平 (RCNP), 野呂哲夫 (九大), 本林透 (理研), 永江知文 (KEK), 岡本浩一 (原産), 大沼甫 (千葉工大), 織原彦乃丞 (東北工大), 齊藤悳二郎 (東北大), 櫻井博儀 (理研), 田中一 (北大), 宇都宮浩章 (甲南大)

### 荷電粒子核反応データファイル運営委員

加藤幾芳 (北大), 青山茂義 (新潟), 千葉正喜 (札幌学院大), 平林義治 (北大), 片山敏之 (北星学園大), 升井洋志 (北見工大), 能登宏 (北星学園大), 大西明 (北大), 岡部成玄 (北大)

### 採録・グラフ数値化・システム開発

芦沢貴子 (北大), 伊藤慎也 (北大), 黒河千恵 (北大), 松宮浩志 (北大), 村上貴臣 (北大), 鈴木隆介 (北大), 富樫智章 (北大), 椿原康介 (北大), 吉田ひとみ (北大)

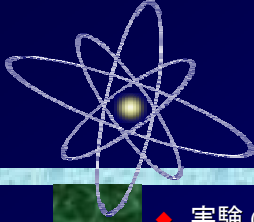
## ● 核反応データセンターネットワーク (NRDC)

### NRDC データセンター長

A.L. Nichols (IAEA-NDS), P. Obložinský (BNL-NNDC), 長谷川明 (OECD-NEA), F. Chukreev (Moscow), V.N. Manokhin (Obninsk), V. Varlamov (Moscow), Ge Zhigang (Beijing), 加藤幾芳 (北大), 片倉純一 (JAERI), F. Tárkányi (ATOMKI), O.O. Gritzay (Kiev), S. Taova (Sarov), Y.O. Lee (KAERI)

### EXFOR 採録 (中心人物)?

O. Schwerer (IAEA-NDS), D. Rochman (BNL-NNDC), S.Y. Babykina (Moscow), S. Maev (Obninsk), M. Mikhaylyukova (Obninsk), 大塚直彦 (JAEA/JCPRG), S. Takaes (ATOMKI), H. Henriksson (OECD-NEA), Yu H (Beijing)



# 日本における問い合わせ先

- ◆ 実験 (核反応) データ (NRDF, EXFOR, 未採録データ...):  
[services@jcprg.org](mailto:services@jcprg.org) (JCPRG)  
<http://www.jcprg.org/>
- ◆ 評価済核データ (JENDL, ENDF, ENSDF...):  
[tokai-ndc-faq@jaea.go.jp](mailto:tokai-ndc-faq@jaea.go.jp) (JAEA-NDC)

JCPRG - 運営委員会の一コマ

