

# EGS4システムの概要

平山 英夫

KEK, 高エネルギー加速器研究機構

## EGS以前の電磁カスケードモンテカルロコード

- Butcher and Messel, Varfolomeev and Svetlolobov
  - モンテカルロ法を用いた高エネルギーカスケード計算への電子計算機の最初の利用
  - シャワー関数を詳細なテーブルの形で“Shower book” (Pergamon Press, Oxford 1970)として提供
  - コードは公開されなかった
- Zerby and Moran
  - SLACの2マイル線型加速器の建設を機会に作られ、多くの物理的、工学的課題に使用された
  - コードはORNL内部でのみ公開

## Nagel's code

- 当時公開されていた唯一のコード
- 高エネルギー電子のみ (1000MeV以下)
- 円筒形状の鉛のみが扱える
- 彼の元のプログラム (SHOWER1) は、様々なところに持ち込まれた
- MITのNicoliはSHOWER1を拡張してSHOWER2に
- NagelがNicoli version (SHOWER2) をSLACに持ち込む (1966)
- SLACでの改良の取り組みが始まる →EGS

# History of EGS System

Period	Program	Language	Authors
1963 ~ 1965	SHOWER1	Fortran	Nagel
1966	SHOWER2	Fortran	Nicoli
1967 ~ 1972	SHOWER3/PREPRO	Fortran	Ryder, Talwar, Nelson
1970 ~ 1972	SHOWER4/SHINP	Fortran	Ford
1974	EGS1/PEGS1	Fortran	Ford, Nelson
1975	EGS2/PEGS2	Mortran 2	Ford, Nelson
1976 ~ 1977	EGS3/PEGS3(SLAC-210)	Mortran 2	Ford, Nelson
1982 ~ 1985	EGS4/PEGS4(SLAC-265)	Mortran 3	Nelson, Hirayama, Rogers
2000 ~ ?	EGS5	Fortran	SLAC, U of Michigan, KEK

# ETTRAN code

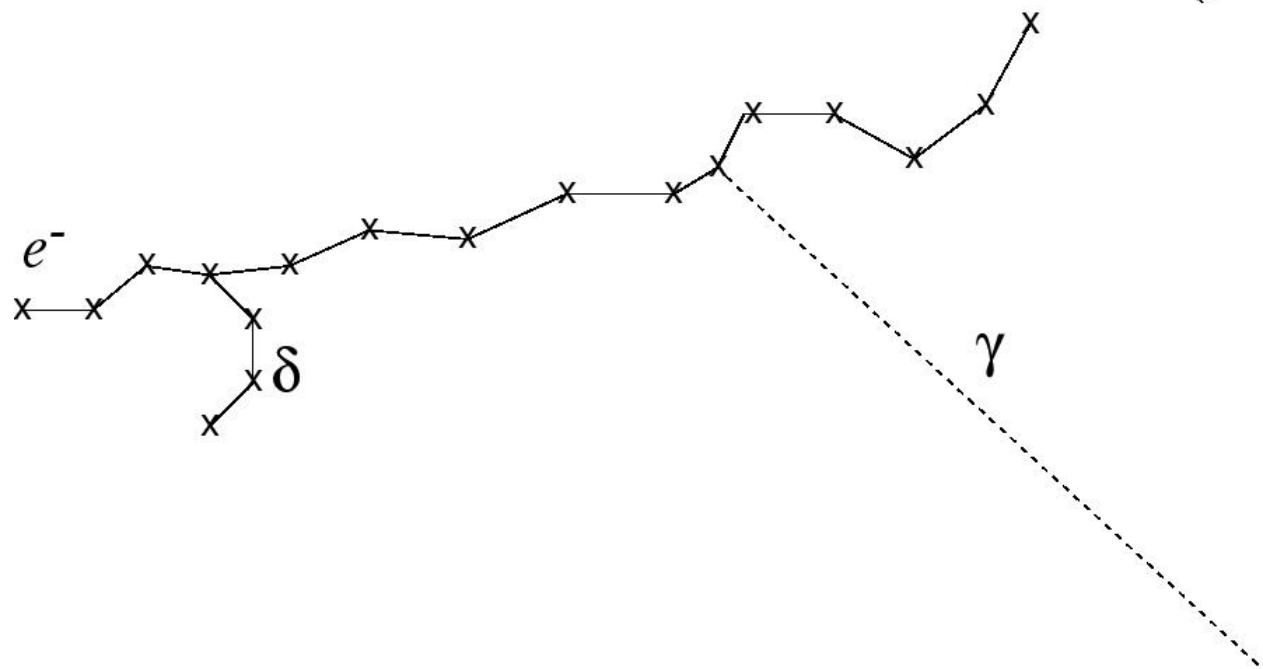
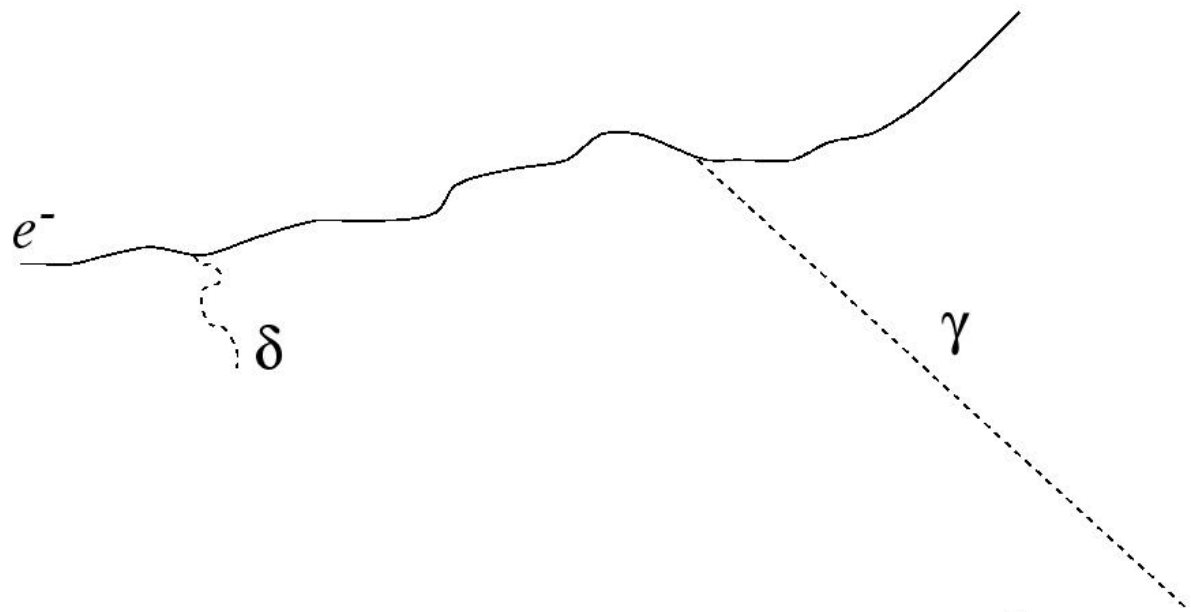
- NBS(現在のNIST)のBerger and Seltzerが開発
- Electron TRANsport
- 低エネルギー電子の計算を目的としたモンテカルロコード
- その後、高エネルギー領域へ拡張
- Sandia National Laboratory で ITS (Integrated Tiger Series) として改良が取り組まれている

# EGS4コードシステムの概要

- 任意の元素、化合物あるいは混合物中の電子、陽電子あるいは光子の輸送を扱う事ができる。EGS4で使用する各物質の諸データは、原子番号1から100までの元素の断面積データを用いてPEGS4(A Preprocessor for EGS4)により計算される。
- 光子、荷電粒子共に、離散的なステップではなく、ランダムな輸送として扱われる。
- 荷電粒子の適用エネルギー範囲は、運動エネルギーで数keVから数千GeVである。
- 光子の適用エネルギー範囲は、1keVから数千GeVである。

# EGS4で扱っている電子 / 陽電子の反応

- Bremsstrahlung production (excluding the Elwert correction at low energies)
- Positron annihilation in flight and at rest (the annihilation quanta are followed to completion).
- Molière multiple scattering (*i.e.*, Coulomb scattering from nuclei). The reduced angle is sampled from a continuous (rather than discrete) distribution. This is done for arbitrary step size, selected randomly, provided that they are not so large or small as to invalidate the theory.
- PRESTA (Parameter Reduced Electron Step Transport Algorithm) for electron transport (NRCC extension).

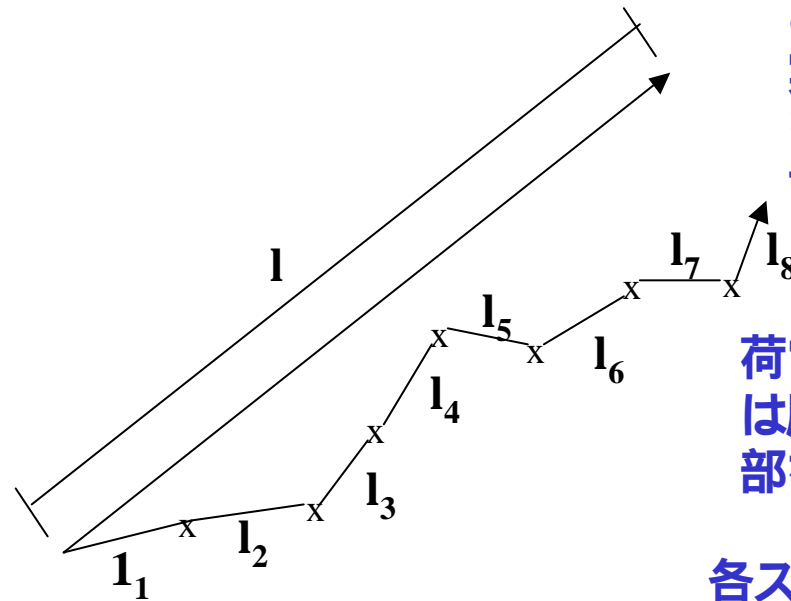




電子や陽電子は、物質中で多数回の弾性散乱をするので、この弾性散乱を光子と同じように扱うことは難しい。

## 反応点までの距離の決定

$$l = -\ln(d)/S$$



電子あるいは陽電子

初期条件 : エネルギー、位置、方向

$$E_0, X_0, Y_0, Z_0, U_0, V_0, W_0$$

## Condensed History Technique

反応場所までの距離を多くの細かいステップに分割し、各ステップにおける多数回の弾性散乱による実際の飛程、方向や位置の変化を“多重散乱モデルを使って評価する”

荷電粒子は、移動に伴い電離あるいは励起により、そのエネルギーの一部を失う

各ステップでのエネルギー付与

真の飛程  $\times$  阻止能( $dE/dx$ )

# EGS4で扱っている電子 / 陽電子の反応

- Møller ( $e^-e^-$ ) and Bhabha ( $e^+e^-$ ) scattering.
- Continuous energy loss applied to charged-particle tracks between discrete interactions.
  - Total stopping power consists of soft bremsstrahlung and collision loss terms.
  - Collision loss determined by the (restricted) Bethe-Bloch stopping power with Sternheimer treatment of the density effect.
- Electron impact ionization (KEK extension)

# EGS4で扱っている光子の反応

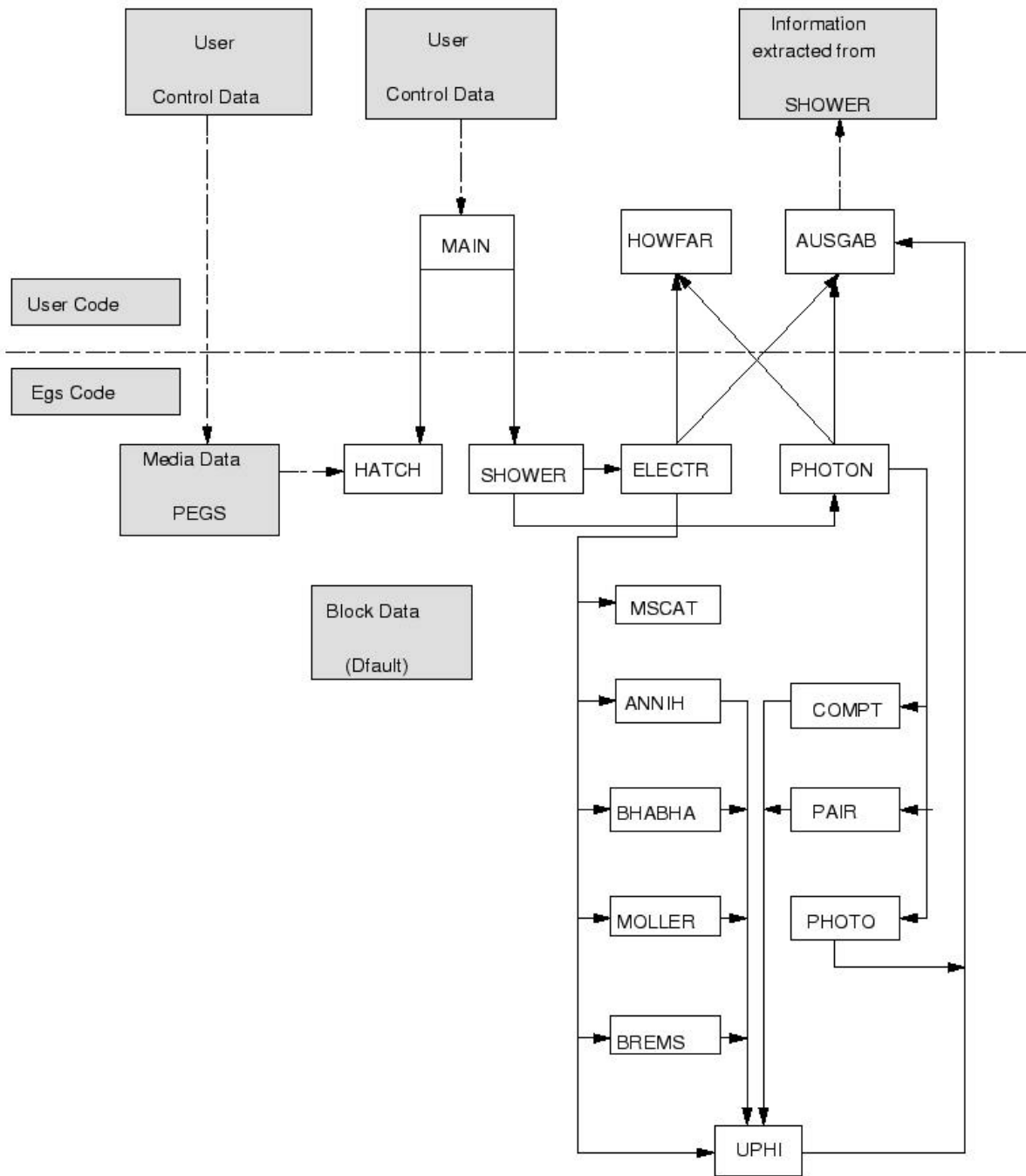
- Pair production.
- Compton scattering.
- Coherent (Rayleigh) scattering can be included by means of an option.
- Photoelectric effect.
  - Neither fluorescent photons nor Auger electrons are produced or transported in the default version of the subroutine PHOTO.
  - Although user-written versions of PHOTO allow for the production and transport of K- and L-edge photons.
- Doppler broadening and linearly-polarized photon scattering (KEK extension).
- General treatments of K- and L- fluorescent photons for compounds or mixtures (KEK extension).

## PEGS4 (Preprocessor for EGS4)

- 12のサブルーチンと85の関数からなるスタンドアロンのプログラムである。その出力は直接EGS4で読み込む形になっている。
  - 広いエネルギー範囲の断面積、分岐比等のデータを piecewise-linear fit したパラメータの形で出力する。
  - 条件が同じであれば、PEGS4の計算は一度で良い。
- PEGS4 と“PEGS4の使い方” については、別の講義で詳しく紹介する。

# EGS4システム

- EGS4は、融通性のあるユーザインターフェイスを持ったサブルーティンとブロックデータで構成されるパッケージである。
  - この事が、コードの内部についての詳細を知らなくても、要件を満たしたユーザーコードと共に用いる事によりEGS4を使える事を可能にしている。
  - Mortran3のマクロ機能と併せて、このような構造がユーザがコードにバグを持ち込むのを防いでいる。
  - EGS4は、PEGS4によって作られた断面積や分岐比等のデータ (piecewise linear fitting) を使用する。



**AUSGAB**

情報の収集

リージョン境界

**HOWFAR**

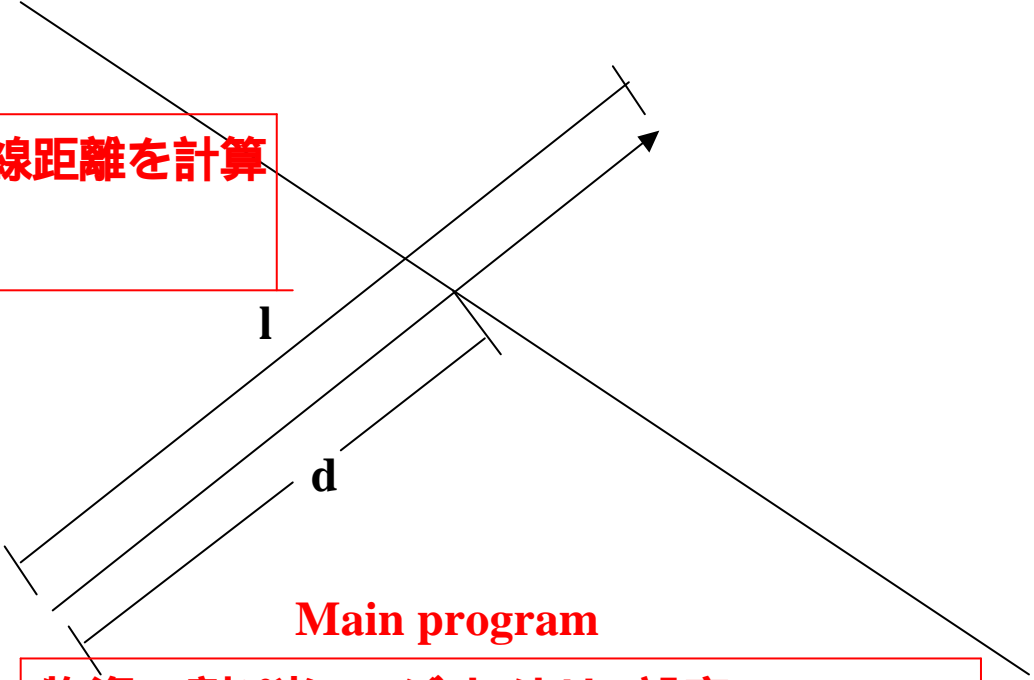
境界までの直線距離を計算  
Set IDISCT=1

**l**

**d**

**Main program**

物資の割り当て, ジオメトリ設定  
初期条件 : エネルギー、位置、方向  
 $E_0, X_0, Y_0, Z_0, U_0, V_0, W_0$   
結果の解析と出力



# HOWFAR と AUSGAB

- ユーザーが扱いたいジオメトリーは、HOWFAR という名前のサブルーチンで扱う
- EGS4におけるジオメトリーの書き方
  - KEKから提供されている、サンプルユーザーコード
  - EGS4のジオメトリーの書き方
- ユーザーが得たい情報は、AUSGAB という名前のサブルーチンで扱う
  - 沈着エネルギー
  - 粒子のエネルギー分布、角度分布等

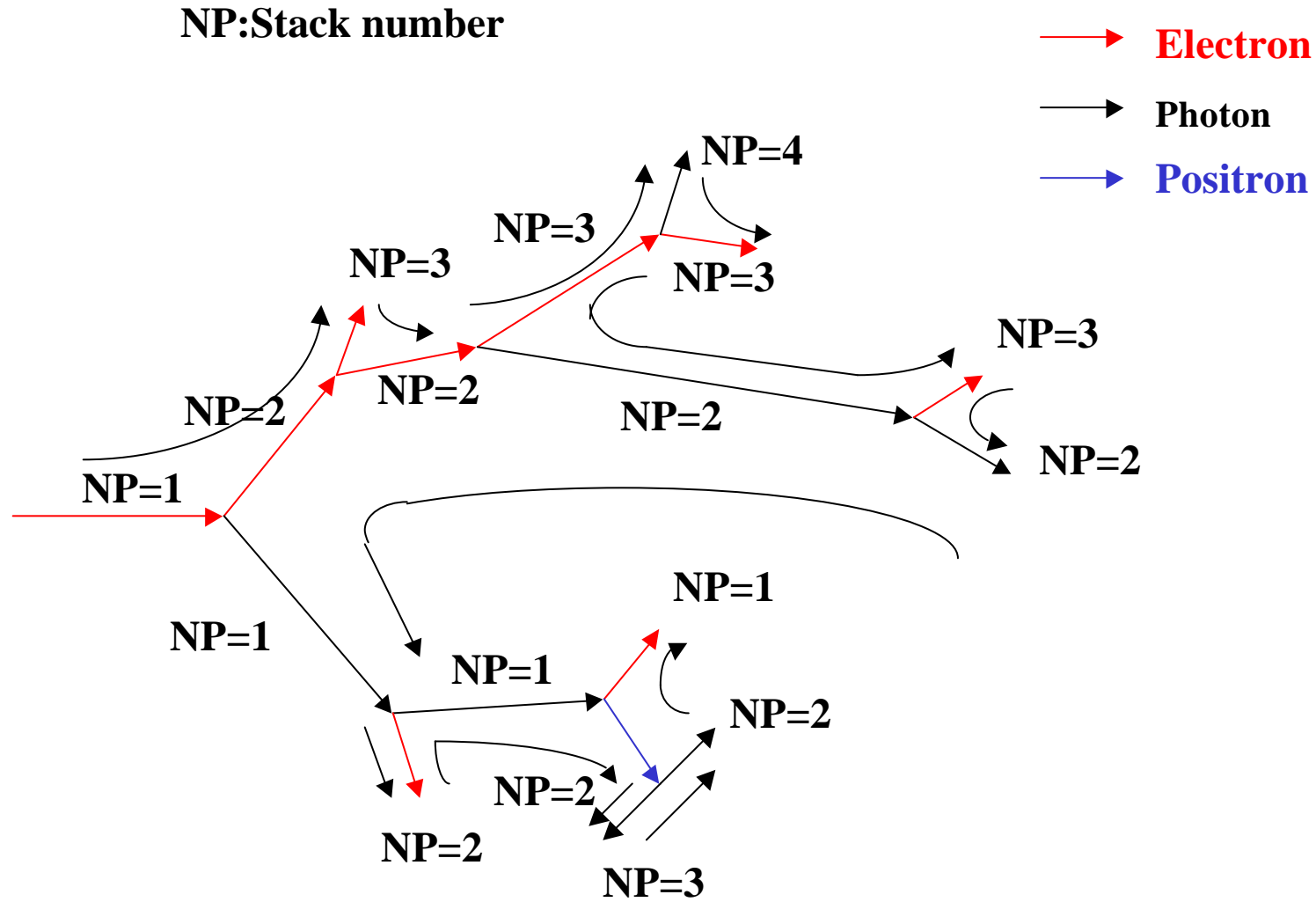


## 以下の時にデフォルトでAUSGABが呼ばれる

- 粒子が移動した時 (IARG=0)
- 粒子のエネルギーがECUTあるいはPCUT以下になった時 (IARG=1, EGSカットオフ)
- 粒子のエネルギーがAEあるいはAP以下になった時 (IARG=2, PEGSカットオフ)
- ユーザーが、粒子の追跡終了の条件を設定した時 (通常HOWFARでIDISC(NP)=1を設定) (IARG=3)
- 光電吸収が起きた時 (IARG=4)
- IAUSFL flag を設定する事により、任意の反応の前後で“AUSGAB”を呼ぶようにする事ができる (詳細は、テキスト参照)

# カスケードの追跡法

- I電磁相互作用では、反応毎に粒子の数が倍になる。  
EGS4では、スタック数NPにより対応している。
  - 線源粒子のスタック数を1にする
  - 反応後、低いエネルギーの粒子のスタック番号をNP+1に、高いエネルギーの粒子のスタック番号をNPとする
  - 何らかの理由で、粒子の追跡が終了したら、次にスタック番号が1小さい粒子を追跡する
  - NP=1の粒子の追跡が粒子の追跡が終了すれば、ヒストリーが終了



**Flow control of cascade in EGS4**