# 粒子線治療にかかわる シミュレーション計算

### 高階 正彰 (阪大医)

がんの主な治療法



✓ 手術



✓ 化学療法

✓ 放射線治療
 (X線(光子)がほとんど)



→ 日本で一番多い

http://www.gsic.jp/cancer/cc\_07/ysc01/index.ht ml

# Advantages of Radiotherapy

- ✓ Non-invasive (非侵襲)
  - Functional preservation (機能温存)
  - Promising treatment for high QOL

✓ Promising treatment for permanent cure.



# 光子(X線)による治療と比較した 粒子線治療の利点

✓ がん細胞を効率的に殺すことが

できる



### ✓ 粒子線ビームは正常組織を避けて、がんに集中

して照射することができる。

(Bragg peak)



不利な点

✓ 放射化 ✓ 線量測定法がまだ確立していない ✓ シミュレーション計算の精度がまだ良くない

粒子線シミュレーションを用いた研究

●粒子線治療中の患者体内の放射化

● モンテカルロシミュレーションを用いた粒子線ビームに対する 擾乱補正係数の導出

粒子線シミュレーション 粒子輸送シミュレーションコード

#### **Geant 4**

Geant4 is a toolkit for the simulation of the passage of particles through matter. Its areas of application include high energy, nuclear and accelerator physics, as well as studies in medical and space science. The two main reference papers for Geant4 are published in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 506 (2003) 250-303, and IEEE Transactions on Nuclear Science 53 No. 1 (2006) 270-278

#### Applications





A sampling of applications, technology transfer and other uses of Geant4

Getting started, guides and information for users and developers

**User Support** 

#### http://geant4.cern.ch/





**Results & Publications** 

Who we are: collaborating institutions, members, organization and legal information

Collaboration

✓ C言語で書かれている。 ✓ ツールキット、自分でコード化。 ✓自由度は高い。 ✓ 敷居も高い。 ✓主にQMD、BICを用いる

Particle and Heavy Ion Transport code System

ホーム | お知らせ | 入手方法 | コード変更履歴 | よくある質問 | 参考文献 | 英語版 (PHITSコードの概略、応用例、ベンチマーク)

#### 最終更新日 2010/7/8

#### 最新情報 2010/7/8: PHITSユーザー研究会・講習会を2010/8/23-8/25に開催決定 詳細

2010/6/10:PHITSコードのテクニカルパートタイマー募集。締め切り平成22年6月18日(金)必着詳細 2010/5/14:日本国内でのPHITS2コードの提供を開始詳細

#### PHITS/ It?

広いエネルギーを持つ各種の放射線を取える汎用の粒子・重イオン輸送計算コード。任意の体系中にわける陽子・中性子・重イオン・ 電子・光子などの牽動を、核反応モデル及びテータを用いて機関するととができます。加速器工学、放射線医療、宇宙工学、また粒子 と原子校の輸送現象に関係する多くの分野の研究をサポートします。

PHITSコードを用いた論文を作成された場合、以下の文献を参照してください。

K. Niita, T. Sato, H. Iwase, H. Nose, H. Nakashima and L. Sihver, "PHITS-a particle and heavy ion transport code system," Radiat. Meas. 41, (2006) 1080-1090.





✓ Fortran で書かれている。

開発者 仁井田 浩二 : (財)高度情報科学技術研究機構 計算科学技術部 研究センター 岩瀬広:大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

佐藤 達彦, 松田 規宏, 岩元 洋介, 中島 宏, 坂本 幸夫: (独)日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門

http://phits.jaea.go.jp/indexj.html



導入

● 粒子線治療中の患者体内の放射化 (壽賀 et al.)

✓ 照射直後, 医療従事者は患者のもとへ近づき、固定具を 外すなどする。(照射後約25秒).

✓ 患者体内が放射化し、近づいた医療従事者が被ばくするのではないかということが指摘されている。



**Exposed to radiation** 

目的

✓ PHITSと崩壊の方程式を用いて、陽子線治療中における患者 体内の放射化をシミュレートする。

✓患者体内から放出される放射線から医療従事者を守るために 必要な冷却時間を見積もる。



水ファントム中で生成されるRIの量を PHITS によって計算する

方法 2

### ✓ PHITS計算で得られたそれぞれのRIに対する崩壊方程式 を解き、放射能を計算する。

崩壊方程式

 $\frac{dN}{dt} = -\lambda N + \frac{\alpha I}{e} \qquad (t \le T) \quad \cdot \ \cdot \ \text{During irradiation}$ 

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (t > T) \quad \cdot \quad After irradiation$$

- T : stopping time of irradiation
- $\lambda$  : decay constant
- $\boldsymbol{\alpha}$  : production ratio for one proton
- I : beam current
- e : elementary charge
- ▶ 放射能の時間依存性が得られる。

方法 3

### ✓ 実効線量の計算



# **Result of PHITS**

それぞれの核の、入射陽子1個に対する生成比

	N Z	5	6	7	8	9
F	9	-	-	-	1.0x10 <sup>-6</sup>	-
0	8	9.6x10 <sup>-5</sup>	3.0x10 <sup>-3</sup>	2.3x10 <sup>-2</sup>	5.3x10 <sup>-1</sup>	8.0x10 <sup>-6</sup>
Ν	7	1.7x10 <sup>-4</sup>	3.7x10 <sup>-3</sup>	2.4x10 <sup>-2</sup>	2.6x19 <sup>-2</sup>	1.7x10 <sup>-4</sup>
С	6	1.9x10 <sup>-3</sup>	3.2x10 <sup>-2</sup>	8.5x10 <sup>-3</sup>	3.4x19 <sup>-3</sup>	6.0x10 <sup>-6</sup>





## Result (effective dose/hour)





### 陽子線治療中の患者体内の放射化

### ✓実効線量を半分にまで下げるためには150秒待つ

必要がある。

研究テーマ

### ✓ 放射化

### ✓ 線量測定法 がまだ確立していない

### ●モンテカルロシミュレーションを用いた粒子線ビームに対する擾 乱補正係数の導出 (Oda et al.)



●モンテカルロシミュレーションを用いた 粒子線ビームに対する擾乱補正係数の 導出 (小田 et al.)

### □擾乱補正係数 : **P**Q

# □ 線量校正に必要 $D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,W,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0}$ $k_{Q,Q_0} = \frac{[W_{air} \cdot (L/\rho)_{air}^{w} \cdot P_Q]_Q}{[W_{air} \cdot (L/\rho)_{air}^{w} \cdot P_Q]_{Q_0}}$

 $k_{Q,Q_0}$ : beam quality conversion factor

*Q*:radiation quality (線質)

### □ 壁と空洞があることによる影響を補正する



## Introduction

粒子線ビームに対する補正係数はまだ確立されていない。

## □ Pq は 1.0 と仮定されることがほとんど

IAEA, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398V.11b, 2004

### □ 正確な線量計算には、精密なPq の値が必要

# 本研究の目的

# Geant4 を用いて、粒子線ビームに対する 擾乱補正係数 *P*<sub>o</sub>を導出する。

### 本研究では陽子線のみを考える。

方法

### 平行平板電離箱 Roos (PTW 34001) を考える。





方法

### Pwallの計算(wall correction factor)



[Dair]w:空洞内での吸収線量

[Dair]Roos: 壁に囲まれた空洞内での吸収線量

方法

### Pcav 計算(cavity correction factor)

[Dair]<sub>w</sub>:空洞内での吸収線量

(*L*/*ρ*)<sup>w</sup><sub>air</sub>:水と空気の制限衝突質量阻止能比

陽子線ビームの場合の結果

### 200 MeV pencil beam



<ul> <li>averaged value</li> </ul>	(~23cm	depth)
------------------------------------	--------	--------

<b>P</b> <sub>wall</sub>	Ρ <sub>cav</sub>	PQ
1.013	1.020	1.033

結論

モンテカルロシミュレーションを用いた粒子線ビー ムに対する擾乱補正係数の導出

### ✓ 陽子線ビームに対しては、P<sub>Q</sub> = 1.033

✓ 3%のエラーは、放射線治療にとっては結構

大きな値である。



この結果をどう扱うか、慎重に考える必要がある。

(そもそも核反応計算、核データ自体に3パーセント以上の誤差があるので、 誤差込みで線量の評価をしなければならない→今進めているところ)

## Collaborators

Hiroshi Toki RCNP, Osaka Univ.

### Koji Niita

Research Organization for Information Science & Technology

### Takuma Horaguchi

Graduate School of Pure and Applied Sciences, Tsukuba Univ.

### Masaki Suga & Michio Oda

Graduate School of Medicine, Osaka Univ.

# Thank you for your attention