

Monte Carlo Simulations in Medical Physics

Tokihiko Yamamoto, M.S.
(tyama@sahs.med.osaka-u.ac.jp)

Department of Medical Physics and Engineering



First EGS4 Workshop in Kansai
Osaka University, Suita, Osaka, Japan

Sep. 9, 2006

内 容

- Monte Carloと医学物理
- Monte Carloによる光子/電子輸送計算
- 医学物理におけるMonte Carloの応用
 - 核医学/診断放射線医学
 - 放射線防護
 - 放射線治療物理学
- 結論

内 容

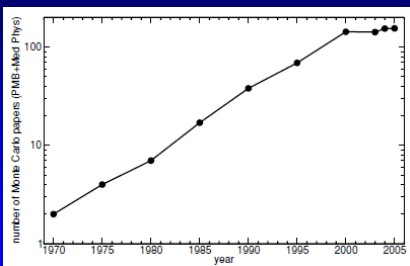
- Monte Carloと医学物理
- Monte Carloによる光子/電子輸送計算
- 医学物理におけるMonte Carloの応用
 - 核医学/診断放射線医学
 - 放射線防護
 - 放射線治療物理学
- 結論

Monte Carlo法の歴史

- Comte du Buffon (1777): needle tossing experiment to calculate π
- Laplace (1886): random points in a rectangle to calculate π
- Fermi (1930): random method to calculate the properties of the newly discovered neutron
- Manhattan project (40's): simulations during the initial development of thermonuclear weapons. von Neumann and Ulam coined the term "Monte Carlo"
- Exponential growth with the availability of digital computers
- Berger (1963): first complete coupled electron-photon transport code that became known as ETRAN
- Exponential growth in Medical Physics since the 80's

Kawrakow AAPM Summer School (2006)

医学物理分野 (PMB or Med Phys) における Monte Carlo関連論文数の遷移

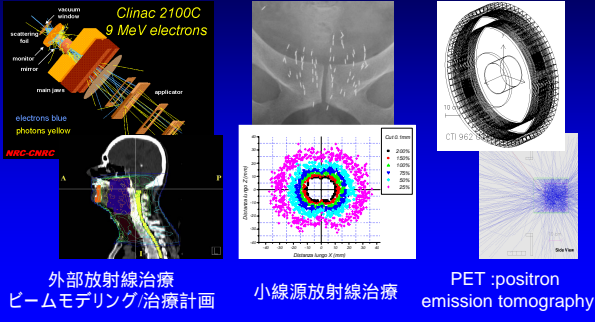


Rogers PMB (2006)

本WS参加者のbackground

- 医学物理 **26**
(放射線治療物理学, 核医学, 診断放射線医学, 放射線防護)
- その他 **5**
(検出器, 情報工学など)
- 事務局 大阪大学大学院医学系研究科
医用物理工学講座

医学物理におけるMonte Carloの応用



内容

- Monte Carloと医学物理
- Monte Carloによる光子/電子輸送計算
- 医学物理におけるMonte Carloの応用
 - 核医学/診断放射線医学
 - 放射線防護
 - 放射線治療物理学
- 結論

Why Call It Monte Carlo?



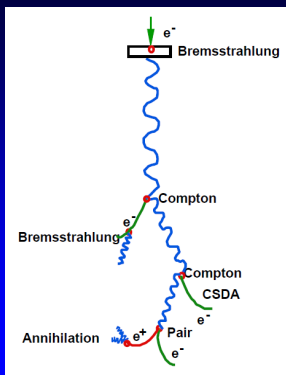
Monte Carlo法による放射線輸送計算

ランダムサンプリングにより放射線の経路をシミュレート

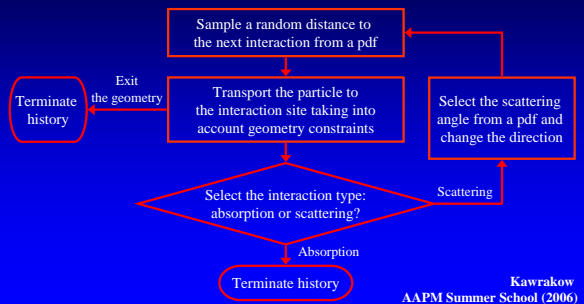
- 乱数が必要
- 各種物理プロセスの確率分布データが必要

膨大なヒストリー数のシミュレーションにより十分な統計精度で計算結果を取得

- 物理量(例: 吸収線量, フルエンス等)の平均値を取得
- 各種イベントの確率分布を取得



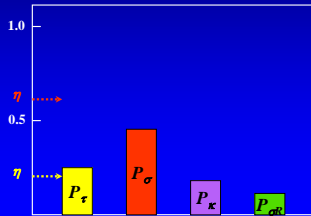
光子/電子の飛跡計算フロー



光子の相互作用のサンプリング

$$\mu_{total} = \tau_{photo} + \sigma_{comp} + \kappa_{pair} + \sigma_{Rayl}$$

$$P_{\mu} = P_{\tau} + P_{\sigma} + P_{\kappa} + P_{\sigma_R} = 1$$



General Purpose Monte Carlo Codes

EGS4

- Developed at SLAC/KEK/NRC
- Maintained at KEK and SLAC
- <http://rewww.kek.jp/research/egs/>

EGS5

- Developed at KEK/U Michigan/SLAC
- <http://rewww.kek.jp/research/egs/egs5.html>

EGSnrc

- Developed and maintained at NRC
- <http://www.irs.inms.nrc.ca/EGSnrc/EGSnrc.html>

General Purpose Monte Carlo Codes (cont.)

MCNP

- Developed and maintained at LANL
- <http://mcnp-green.lanl.gov/index.html>

PENELOPE

- Developed and maintained at U Barcelona
- <http://www.nea.fr/abs/html/nea-1525.html> (NEA)

Geant4

- Developed and maintained by a large collaboration in the high energy physics community
- <http://geant4.web.cern.ch/geant4/>

Try a hand calculation Monte Carlo!

Hirayama H and Namito Y 2001 Lecture notes of radiation transport calculation by Monte Carlo method *High Energy Accelerator Research Organization Report* KEK Internal 2000-20 (Tsukuba, Ibaraki, Japan: KEK)

内 容

- Monte Carloと医学物理
- Monte Carloによる光子/電子輸送計算
- 医学物理におけるMonte Carloの応用
 - 核医学/診断放射線医学
 - 放射線防護
 - 放射線治療物理学
- 結論

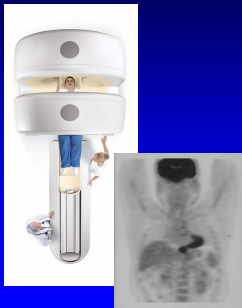
An extensive review is in

Andreo P 1999 Monte Carlo techniques in medical radiation physics *Phys. Med. Biol.* **36** 861-920

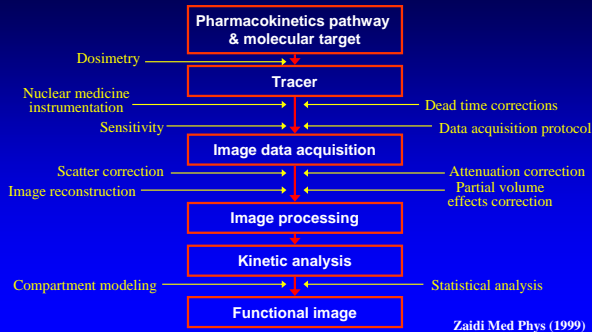
核医学におけるMonte Carlo

Zaidi H 1999 Relevance of accurate Monte Carlo modeling in nuclear medical imaging *Med. Phys.* 26 574-608

- 検出器モデリング (検出器応答・効率計算)
- イメージングシステム・コリメータデザイン
- 画像再構成アルゴリズムの検証・評価
- 吸収・散乱補正
- 吸収線量計算
- 薬物動態モデリング

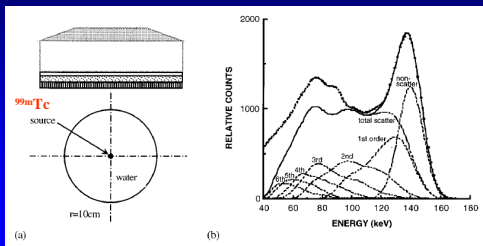


高精度核医学イメージングのためのMonte Carlo



Zaidi Med Phys (1999)

Distribution of the various orders of scattered and nonscattered photons



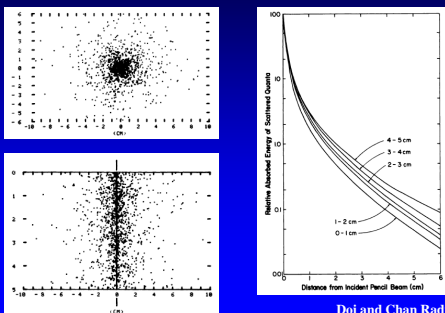
Kojima et al Med Phys (1993)

診断放射線医学におけるMonte Carlo

Chan H and Doi K 1988 Monte Carlo simulation in diagnostic radiology *Monte Carlo Simulation in the Radiological Sciences*, ed R L Morin (Boca Raton, FL, USA: CRC Press) pp 103-92

- 検出器システム (例:スクリーン/フィルム系) の基盤要素の検討
- 様々な物理量の計算 (例:scatter-to-primary ratioの計算)
- 被ばく線量計算

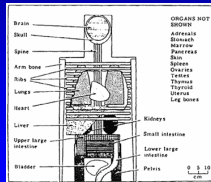
Spatial distribution of absorbed energy due to scattered quanta for mammographic x-rays



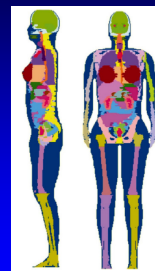
Doi and Chan Radiology (1980)

放射線防護におけるMonte Carlo

- 各臓器・組織に対する正確な実効線量の計算
- 数学ファントムからボクセルファントムへ



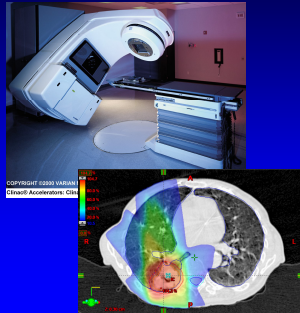
Mathematical MIRD phantom



Voxel phantom (FAX, Kramer et al 2004)

放射線治療におけるMonte Carlo

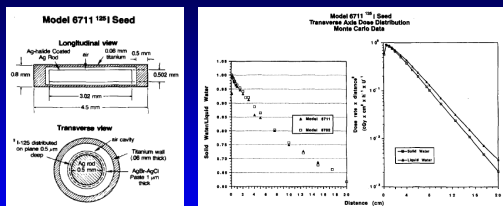
- 小線源放射線治療における線量分布計算
- イオンチェンバを用いた線量測定における各種係数計算 (阻止能比, 壁減弱係数)
- 外部放射線治療ビームモデリング
- 放射線治療計画



Useful Reviews

- Ma C-M and Jiang S B 1999 Monte Carlo modelling of electron beams from medical accelerators *Phys. Med. Biol.* **44** R157-R189
- Mackie T R 1990 Applications of the Monte Carlo method in radiotherapy *The Dosimetry of Ionizing Radiation* vol 3, ed K Kase *et al* (New York, NY, USA: Academic) pp 541-620
- Mohan R 1997 Why Monte Carlo? *Proc. 12th Int. Conf. on the Use of Computers in Radiation Therapy (ICCR) (Salt Lake City, UT, USA)*, ed D D Leavitt and G Starkschall (Madison, WI, USA: Medical Physics Publishing) pp 16-8
- Rogers D W O 2002 Monte Carlo techniques in radiotherapy *Phys. Canada* **58** 63-70
- Verhaegen F and Seuntjens J 2003 Monte Carlo modelling of external radiotherapy photon beams *Phys. Med. Biol.* **48** R107-R164
- Williamson J F 1988 Monte Carlo simulation of photon transport phenomena: sampling techniques *Monte Carlo Simulation in the Radiological Sciences*, ed R L Morin (Boca Raton, FL, USA: CRC Press) pp 53-101

小線源放射線治療への応用



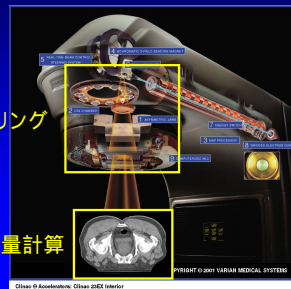
Williamson Med Phys (1991)

- 各種線源周囲の線量分布計算に応用
- 線量測定プロトコル (例: AAPM TG-43) の基礎データとして応用

医用直線加速器を用いた外部放射線治療への応用

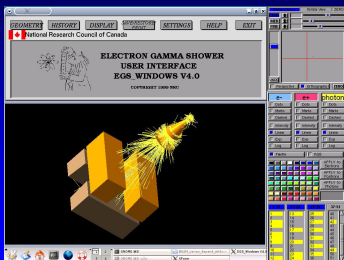
ビームモデリング

患者体内線量計算



EGS4/BEAM Code

- General purpose Monte Carlo simulation system for modeling radiotherapy sources
- Originally developed in the OMEGA project (NRC-UW-Ottawa Cancer Clinic collaboration)
- The current version is EGSnrcMP/BEAMnrcMP
- Available at <http://www.irs.inms.nrc.ca/BEAM/beamhome.html>



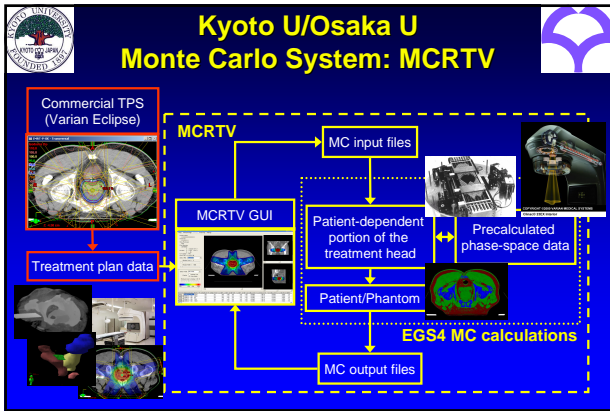
Current Status of Monte Carlo Treatment Planning (MCTP) for Megavoltage Photons

"Academic" MCTP systems

- UCLA
- McGill U (MMCTP)
- U Michigan (RT_DPM)
- MSKCC
- Stanford U/FCCC (MCDOSE, MCSIM)
- U Tübingen
- Virginia Commonwealth U (MCV)
- Kyoto U/Osaka U (MCRTV)
- MCNP
- EGSnrc + XVMC
- DPM
- EGS4
- EGS4
- XVMC
- EGS4
- EGS4

"Commercial" MCTP systems

- NOMOS (PEREGRINE with the CORVUS TSP)
- CMS and Elekta (XVMC)
- Nucletron (VMC++)
- ADAC (DPM)
- etc...



内容

- Monte Carloと医学物理
- Monte Carloによる光子/電子輸送計算
- 医学物理におけるMonte Carloの応用
 - 核医学/診断放射線医学
 - 放射線防護
 - 放射線治療物理学
- 結論

結論

- Monte Carloシミュレーションは、コンピュータの性能向上、及び強力な汎用コードの恩恵を受け、大きく発展してきた
- とりわけ医学物理分野での応用は飛躍的に増大した
- 放射線治療においては、基礎的な研究への応用から、治療計画など臨床応用へ指向しつつある
- Monte Carloは、正確なoutputを計算してくれる万能な手法ではなく、入念な精度検証が必須 (garbage in, garbage out: GIGO!)

Acknowledgments

Osaka University

Teruki Teshima, M.D.
Hideki Takegawa, M.S.
Nobutaka Mukumoto
Yoshitomo Ishihara
Susumu Saitoh
Katsutomu Tsujii
Masayoshi Yasunaga

Kyoto University

Masahiro Hiraoka, M.D.
Yasushi Nagata, M.D.
Takashi Mizowaki, M.D.
Yuichiro Narita, Ph.D.
Yuki Miyabe, M.S.
Shinsuke Yano, R.T.T.

KEK

Hideo Hirayama, Ph.D.
Yoshihito Namito, Ph.D.



Thank You