

# 原子力緊急事態における放射線量評価



## Overview of Radiation Dose Assessment in Nuclear Emergencies

Tom Johnson, PhD, CHP, NRRPT, CLSO  
Professor

Colorado  
State  
University



# Objective 目的

Colorado State University

- Ascertain radiation dose to an individual without radiation dosimetry
- 放射線線量測定なしで個人への放射線量を確認する
  - Estimate radiation dose from large external radiation source
  - 大きな外部放射線源からの放射線量を推定する
  - Estimate radiation dose from criticality accident
  - 臨界事故による放射線量の推定
  - Estimate radiation dose from nuclear weapon
  - 核兵器からの放射線量を推定する
- Methods to determine radiation dose after an accident
- 事故後の放射線量を決定する方法

# Immediately after Radiation Accident 放射線事故直後

- Prevent acute radiation effects to individuals
- 個人に対する急性放射線の影響を防ぐ
- Radiation contamination issues are a secondary concern, especially when the radiation contaminated incident site and number of evacuees is large.
- 放射線汚染の問題は、特に放射線で汚染された事故現場と避難者の数が多い場合、二次的な懸念事項です。

# Radiation Contamination

## 放射線汚染

- 
- Individuals with *spot* radiation contamination greater than  $2.2 \times 10^6$  dpm (37,000 Bq) should be a priority for decontamination
  - スポット放射能汚染が $2.2 \times 10^6$  dpm (37,000 Bq) を超える個人は、除染の優先事項である必要があります

# Determining Radiation Dose From a Large External Radiation Source

大規模な外部放射線源からの放射  
線量の決定

# 放射線量 <1 Gy

- Typically no signs or symptoms for people below approximately 1 Gy
- No physical impairment
- Radiation dose determination by
  - Blood bioassay – dicentric/acentric bioassay can be used to determine >0.2 Gy
  - ESR using teeth or other items if radiation dose >0.5 Gy (difficult to perform)
  - Radiation dose calculation or modeling

# 放射線量 <1 Gy

- 通常、約1 Gy未満の人には徵候や症状はありません
- 身体障害なし
- 放射線量の決定
  - 血液バイオアッセイ-二動原体/非動原体バイオアッセイを使用して、 $> 0.2 \text{ Gy}$ を測定できます
  - 放射線量が $0.5 \text{ Gy}$ を超える場合（実行が困難）、歯またはその他のアイテムを使用したESR
  - 放射線量の計算またはモデリング

# 放射線量 1 Gy - 2 Gy

- 5% -50% emesis 3-6 hours after radiation dose. Emesis stops within 24 hours
- No physical impairment
- Chance of minor bleeding from gums
- Radiation dose determination by
  - Blood bioassay
    - <1400 lymphocyte cells / mm<sup>3</sup> at 4 days

# 放射線量 2 Gy- 6 Gy

- 50% -100% emesis 1 – 6 hours after radiation dose. Emesis stops within 24 hours.
- Cognitive impairment for 6-20 hours
- Bleeding around gums, some purpura
- Hair loss at >3 Gy in 14-21 days
- Radiation dose determination by
  - Blood bioassay
    - <1400 lymphocyte cells / mm<sup>3</sup> before 48 hours
- Lethal without treatment above approximately 3 Gy
  - Death 3-12 weeks above 3 Gy with no medical treatment

# 放射線量 2 Gy- 6 Gy

- 放射線量の1~6時間後、50%~100%嘔吐。嘔吐は24時間以内に停止します。
- 6~20時間の認知障害
- 歯茎の出血、紫斑
- 脱毛は14~21日間で3Gyを超える放射線量で発生します
- 放射線量の決定
  - 血液バイオアッセイ
  - <1400リンパ球細胞/ mm<sup>3</sup> 48時間前
- 約3 Gyを超える治療なしの致死
  - 治療なしで3Gy以上3~12週間で死亡

# 放射線量6 Gy – 8 Gy

- 75% -100% emesis <2 hours after radiation dose. Emesis stops within 48 hours.
- Cognitive impairment >24 hours
- Bleeding around gums, purpura
- Permanent hair loss
- Radiation dose determination by
  - Blood bioassay
    - <1000 lymphocyte cells / mm<sup>3</sup> before 24 hours
- Death 3-12 weeks

# 放射線量6 Gy – 8 Gy

- 75%-100%嘔吐<放射線照射後2時間以内。  
嘔吐は48時間以内に止まります。
- 24時間を超える認知障害
- 歯茎周囲の出血、紫斑
- 永久脱毛
- 放射線量の決定
  - 血液バイオアッセイ
    - <1000リンパ球細胞/ mm<sup>3</sup> 24時間前
- 3~12週間で死亡

# 放射線量 >8 Gy

- 98% -100% emesis <2 hours after radiation dose. Emesis stops within 48 hours.
- Incapacitation
- Bleeding around gums, purpura
- Permanent hair loss, diarrhea, fever
- Radiation dose determination by
  - Blood bioassay
    - <1000 lymphocyte cells / mm<sup>3</sup> before 24 hours
- Death 1-2 weeks

# 放射線量 >8 Gy

- 98%-100%嘔吐<放射線照射の2時間後。嘔吐は48時間以内に止まります。
- 無能力化
- 歯茎周囲の出血、紫斑
- 永久脱毛、下痢、発熱
- 放射線量の決定
  - 血液バイオアッセイ
  - <1000リンパ球細胞/ mm<sup>3</sup> 24時間前
- 1~2週間で死亡

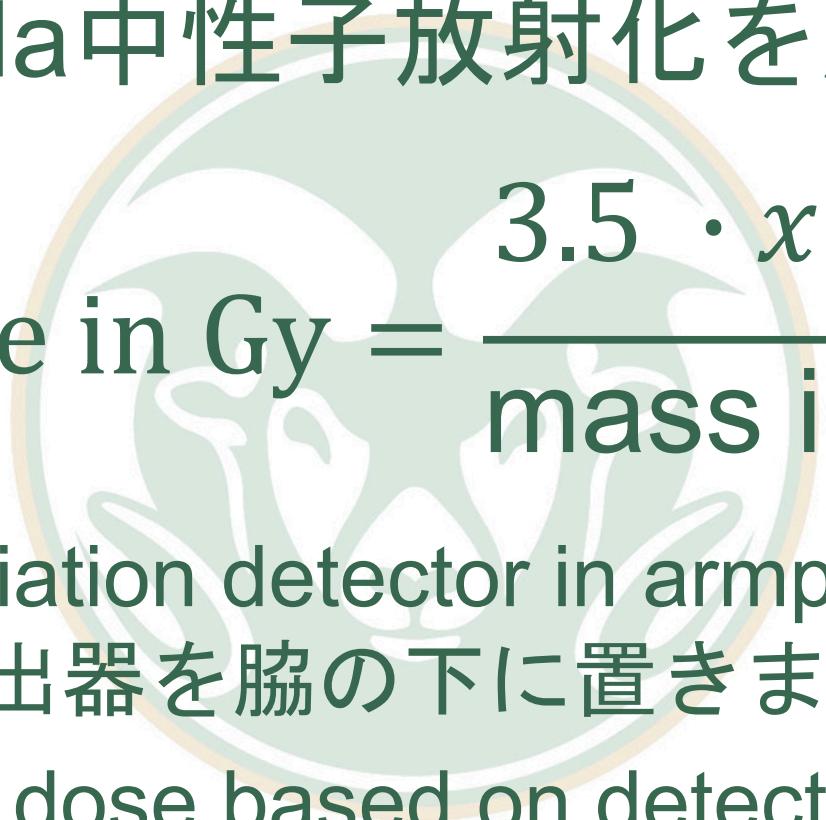
# Criticality Accident Radiation Dose

臨界事故の放射線量



# Measure $^{24}\text{Na}$ Activation in Human Body

人体の $^{24}\text{Na}$ 中性子放射化を測定する


$$\text{Dose in Gy} = \frac{3.5 \cdot x \frac{\mu\text{Gy}}{\text{h}}}{\text{mass in kg}}$$

- Place radiation detector in armpit  
放射線検出器を脇の下に置きます
- Calculate dose based on detector response  
放射線検出器の応答に基づいて放射線量を計算する

# Example 例

Colorado State University

0.04 Gyへの高速中性子照射後に予想される  
誘導<sup>24</sup>Na放射能

Induced <sup>24</sup>Na activity expected n<sub>f</sub> of 0.04 Gy

Mass in kg	Count rate immediately following accident (cpm)	Count rate 15 minutes after accident (cpm)
70	275	135
80	310	155
90	350	175
100	400	200

# Measure $^{32}\text{P}$ Activation in Hair

毛髪の $^{32}\text{P}$ 中性子放射化を測定する

- Past neutrons activate hair
- 高速中性子は髪を活性化する
  - IAEA Technical Report Series 152 for sample preparation

$$D = 0.55 \text{ A}$$

$A = {}^{32}\text{P} \text{ activity (dpm/g hair ヘア)}$

$D = \text{Gy}$ の放射線量

# Radiation Dose Estimation for Criticality (Rule of 7 and 10)

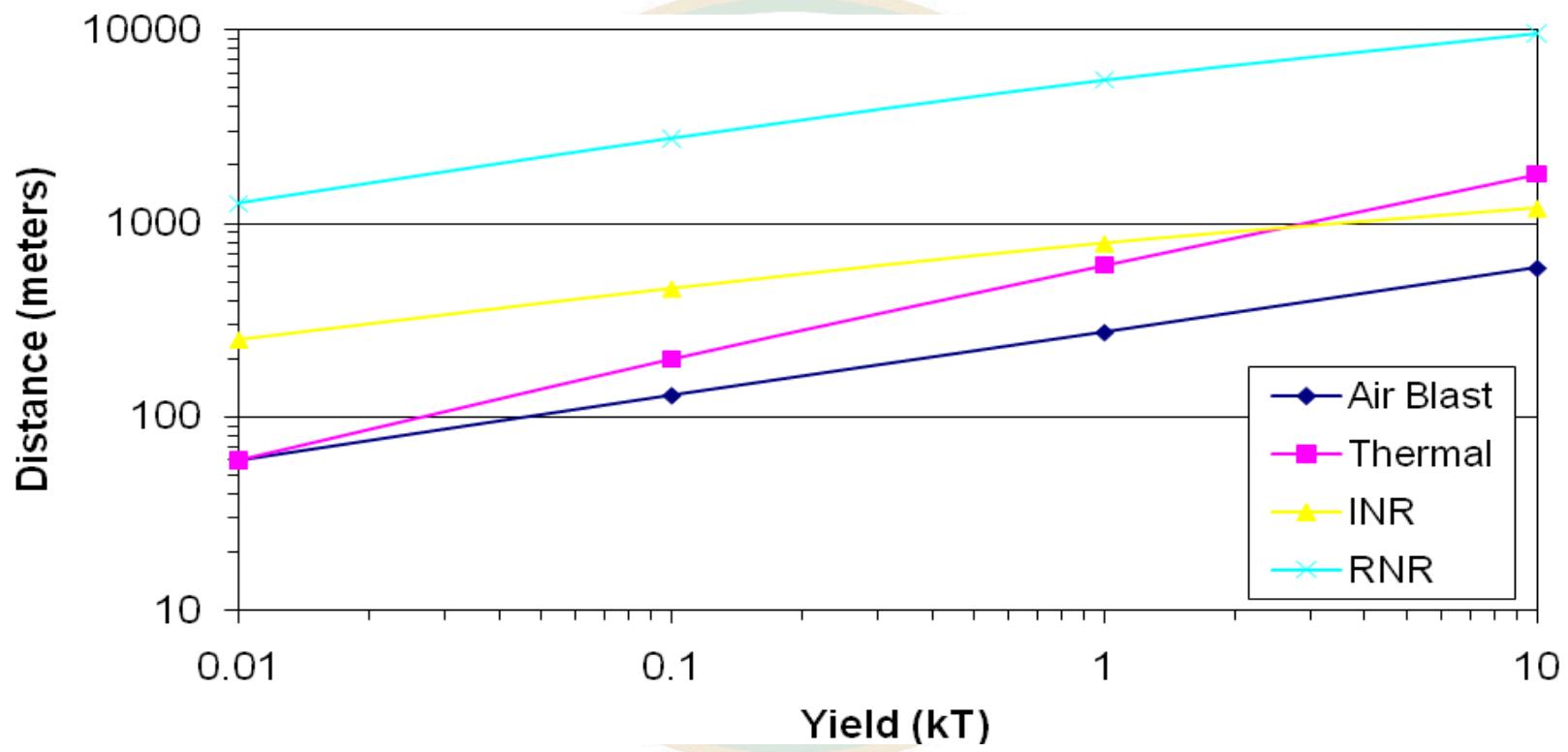
## 臨界の放射線量推定（7および10のルール）

- For every seven-fold increase in time after a criticality, there is a ten-fold decrease in radiation dose.
- 臨界後の時間の7倍の増加ごとに、放射線量が10倍減少します。

# 例 Example

Time in hours	Fraction decrease	Radiation Intensity Gy/h
1	-	1000
7	1/10	100
49	1/100	10
343	1/1000	1

# Nuclear Weapon Dose Estimate



Distance to LD50 Initial Nuclear Radiation (INR), Residual Nuclear Radiation (RNR)  
LD50初期核放射線（INR）、残留核放射線（RNR）までの距離

例：爆発後1時間以内のGyの線量

Example: Dose in Gy 1<sup>st</sup> h After Det

Detonation yield (kt)	1000 m	2000 m	10,000 m
0.01	6.7	1.5	0.001
0.1	38	8.3	0.1
1	210	47	0.6
10	1200	260	3.5

# Methods to determine radiation dose after an accident

事故後の放射線量を決定する方法

# Biological Measures of Radiation Dose 放射線量の生物学的測定

- Count lymphocytes or acentric and dicentric DNA to ascertain radiation dose
- リンパ球またはアセントリックおよびダイセントリックDNAをカウントして、放射線量を確認します
  - Well established method 確立された方法
  - Measures >0.2 Gy 測定値> 0.2 Gy

Dose, Gy	% emesis	Median onset of emesis (h)	Absolute lymphocyte count; % of normal in first 24 h	Relative increase in serum amy- lase, day 1	Number of dicentrics per 50 metaphases
0	-	-	100	1	0.05–0.1
1	19	-	88	2	4
2	35	4.6	78	4	12
3	54	2.6	69	6	22
4	72	1.7	60	10	35
5	86	1.3	53	13	51
> 6	90–100	1.0	< 47	> 15	-

# Radiation Dose from Inhalation

## 吸入による放射線量

- Nasal swabs – assume estimate 5-10% of intake, may be as high as 25%  
鼻腔スワブ–摂取量の5~10%を推定すると仮定すると、25%になる可能性があります
  - Useful for determining if inhalation of radioactive material occurred
  - 放射性物質の吸入が発生したかどうかを判断するのに役立ちます

# Bioassay バイオアッセイ

- In vivo analysis of radioactive material deposited in the body using NaI or HPGe
- NaIまたはHPGeを使用して体内に沈着した放射性物質の生体内分析
- In vitro analysis of radioactive material deposited in the body using urine or fecal analysis
- 尿または糞便分析を使用した体内に沈着した放射性物質の生体外分析

# Electron Spin Resonance (ESR)

## 電子スピノン共鳴

- Useful for external gamma ray radiation doses  
 $>0.5 \text{ Gy}$
- 0.5 Gyを超える外部ガンマ線放射線量に有用
- Requires crystal matrix materials
- 結晶マトリックス材料が必要
  - Tooth, watch crystal, some building materials
  - 齒、時計の水晶、いくつかの建築材料
- Complex, time consuming 複雑で時間がかかる

# Mathematical Estimate of Radiation Dose 放射線量の数学的推定

- Photon measurements 光子測定

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$

- $I_1$  = 位置1の放射強度
- $I_2$  = 位置2の放射強度
- $d_1$  = 位置1から放射線源までの距離
- $d_2$  = 位置2から放射線源までの距離

# Example 例

- The radiation dose rate from a radiation sources is 0.05 Gy/h at a distance of 10 meters. A person was standing at 2 meters from the source for 1 hour. What is the radiation dose?
- 放射線源からの放射線量率は、10メートルの距離で0.05 Gy / hです。1人が1時間、ソースから2メートルのところに立っていました。放射線量はいくらですか？

# Example Inverse Square Law

## 逆二乗の例

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$

- $I_1 = 0.05 \text{ Gy/h}$
- $I_2$  = 位置2の放射強度
- $d_1 = 10 \text{ m}$
- $d_2 = 2 \text{ m}$

$$0.05 \text{ Gy/h} (10 \text{ m})^2 = I_2 (2 \text{ m})^2$$

$$I_2 = 1.25 \text{ Gy/h}$$

$$1.25 \text{ Gy/h for 1 hour} = 1.25 \text{ Gy}$$

# 事故の放射線量を推定するための 無料ソフトウェア

- Biodosimetry Assessment Tool
- WinFRAT—First-responders Radiological Assessment Triage
- <https://www.usuhs.edu/afrrri/biodosimetrytools>

# Questions?

Tom Johnson

[tj@colostate.edu](mailto:tj@colostate.edu)

+1-970-491-0563



Colorado State University

