

# 福島原発事故(2011)対応 についての遡及的考察

この7年間に得られた“次の事故対策  
に生かすべき知見“は何か？

加藤和明(洗練課題研究所、KEK)

豊田亘博(豊田放射線研究所、阪大)

熊澤蕃(元JAERI,JNES,NSC)

# 目的と目標と方法

- 災害1FNDからの7年から、大規模原子力災害対策の合理化に資する知見の“汲み出し”を図り、復興期の減災（二次災害の防止・低減）を重視した收拾策（復興・減災対策）の探索・創出を目標に“思考実験”を試みる
- 環境汚染減弱の時間的推移に係る情報の蓄積から、コスト重視の“災害復興策”立案に資するべく、量・質両面での知見の整理を行う
- 具体的には、現時点での“知見の総括”と非常時における放射線管理方策の在り方について考察を行うことである
- 環境汚染の実効半減期の把握、リスク顕在の実態についての考察、（除染、居住制限、経済支援、等の）主要施策についての“成績評価”を通し、非常時における放射線管理の在り方について思考実験を行う

# 思考実験

- 1FND起因放射線への被曝管理は当時の国の制度設計では対象外であったことに鑑み国は“非常事態宣言”を布告し、管理基準を含め、放射線防護の方策をそれに相応しいものを模索すべきであったと考える
- 被曝線量を“追加線量”に限定せず、既存の自然起因と併せ一体的に取り扱う
- 被曝管理の基準は、自然起因放射線のレベルと変動幅に着目し、原則「年2mSv(実効線量)」としたらどうであったか？ <自然起因放射線は既存の制度設計では被曝線量管理の対象外である>
- 3種の施策(A:現行;B:上記;C:個人の裁量に委ねる)を取り上げ、効果と経費への感度分析を行う

# 知りたい情報

- 1 FND起因放射線への被曝を直接の死因とする死者数と余命短縮の推定
  - 放射線防護に係る施策による余命短縮の推定値
  - 住民避難に要した経費
  - 汚染除去に掛けた経費
- 剥離した“汚染土壌”の埋め戻し計画の見積経費

# 災害impactの経時低減

- 一般に経過時間 ( $\tau=t-t_0$ ) について単調減少
- 理論的考察では“変化率=一定( $t$ に関して)”を想定するのが“常態”
- 実験データの当て嵌めでは“冪関数”による数式表現の報告が多い
  - 人体に取り込まれた放射性同位体の残存推移
  - 原爆炸裂後の放射線・放射能強度：  
~  $t^{-1.2}$  : Way-Wigner の式

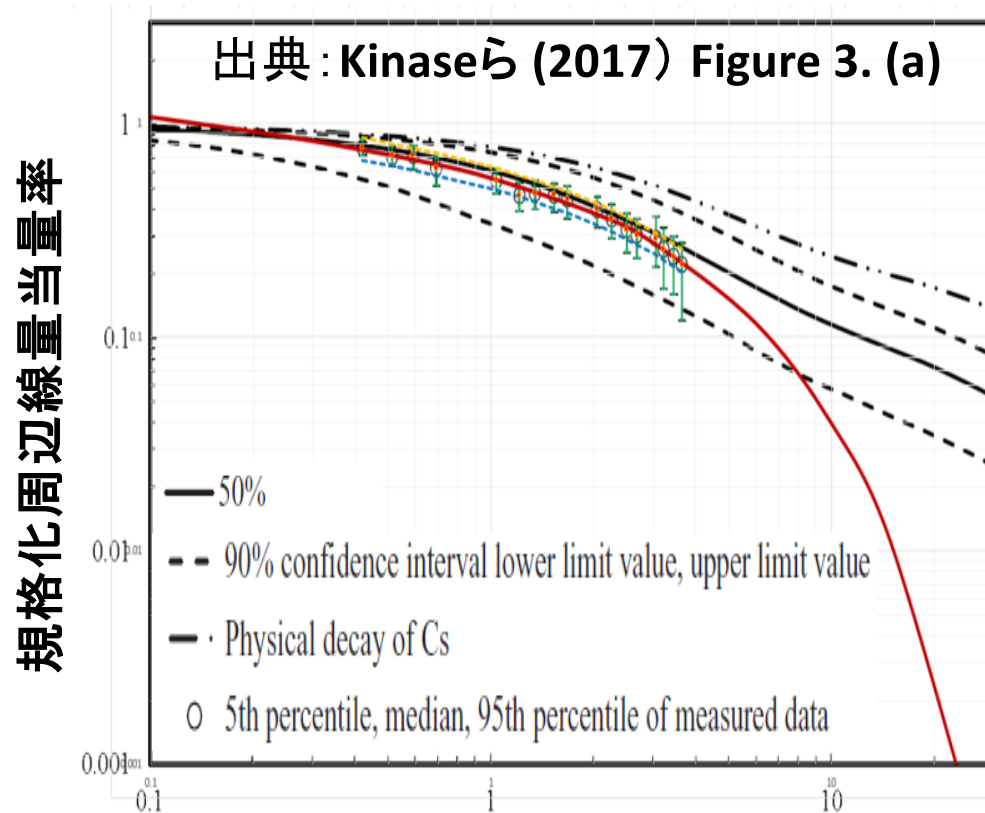
# 周辺線量当量率長期予測 (Kinaseら 2017)

- Kinaseら(2017) 日本原子力学会欧文誌  
 “Long-term predictions of ambient dose equivalent rates after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident,”  
 Journal of Nuclear Science and Technology, 54, 1345-1354.
- 規制庁、経産省公開環境中車両サーベイ結果  
 9期間(2011.6~2014.12): 約 81万個  
 20期間(2011.8~2015.12): 約288万個 (避難区域詳細調査)
- 地表放射性Cs周辺線量当量率計算モデル

$$Y(t) = (Y(0) - Y_{BG}) \left\{ \alpha_{\text{short}} e^{\frac{-\ln 2}{T_{\text{short}}} t} + (1 - \alpha_{\text{short}}) e^{\frac{-\ln 2}{T_{\text{long}}} t} \right\} \frac{k \cdot e^{-\lambda_{134} t} + e^{-\lambda_{137} t}}{k + 1} + Y_{BG}$$

2011.3.15推定値	BG値	短期減衰項	長期減衰項	Cs-134とCs-137	BG
周辺線量当量率		生態学的核種減衰		核壊変減衰	0.05 μSv/h

# 事故後 周辺線量当量率Y(t)長期予測



出典: Kinaseら (2017) Figure 3. (a)

規格化周辺線量当量率

2011年3月15日後の経過時間(年)

(a) 帰宅困難、避難指示区域の森林地帯

図から半減期  $t_{1/2}$  推定

$t=0.4$ 年時点で約 1.6年、 $t=1.2$ 年時点で約 2.1年

## • Kinaseら論文 (2017)

核種挙動 2コンパートメントモデル

$$Y(t) = (Y(0) - Y_{BG}) \left\{ \alpha_{\text{short}} \exp\left(\frac{-\ln 2}{T_{\text{short}}} \cdot t\right) + (1 - \alpha_{\text{short}}) \exp\left(\frac{-\ln 2}{T_{\text{long}}} \cdot t\right) \right\} + \frac{k \exp(-\lambda_{134}t) + \exp(-\lambda_{137}t)}{k + 1} + Y_{BG} \quad (1)$$

## • Hybrid Scale (HS) モデル

短期:ベキ関数減衰、長期:指数関数減衰  
連続変化 → ハイブリッド関数でモデル化

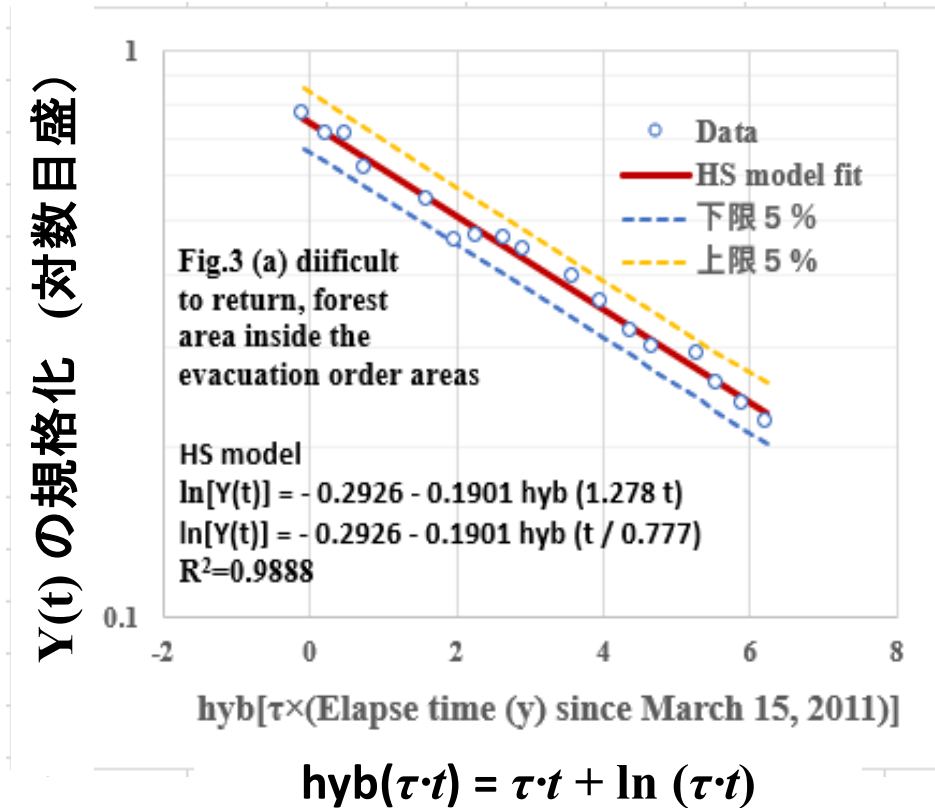
$$\ln[Y(t)] = \alpha + \beta \text{hyb}(\tau \cdot t)$$

$$\text{hyb}(\tau \cdot t) = \tau \cdot t + \ln(\tau \cdot t)$$

$t < 0.567/\tau$  (年) でべき減衰項が優勢

$t > 0.567/\tau$  (年) で指数減衰項が優勢

# つづき：HSモデルの適用



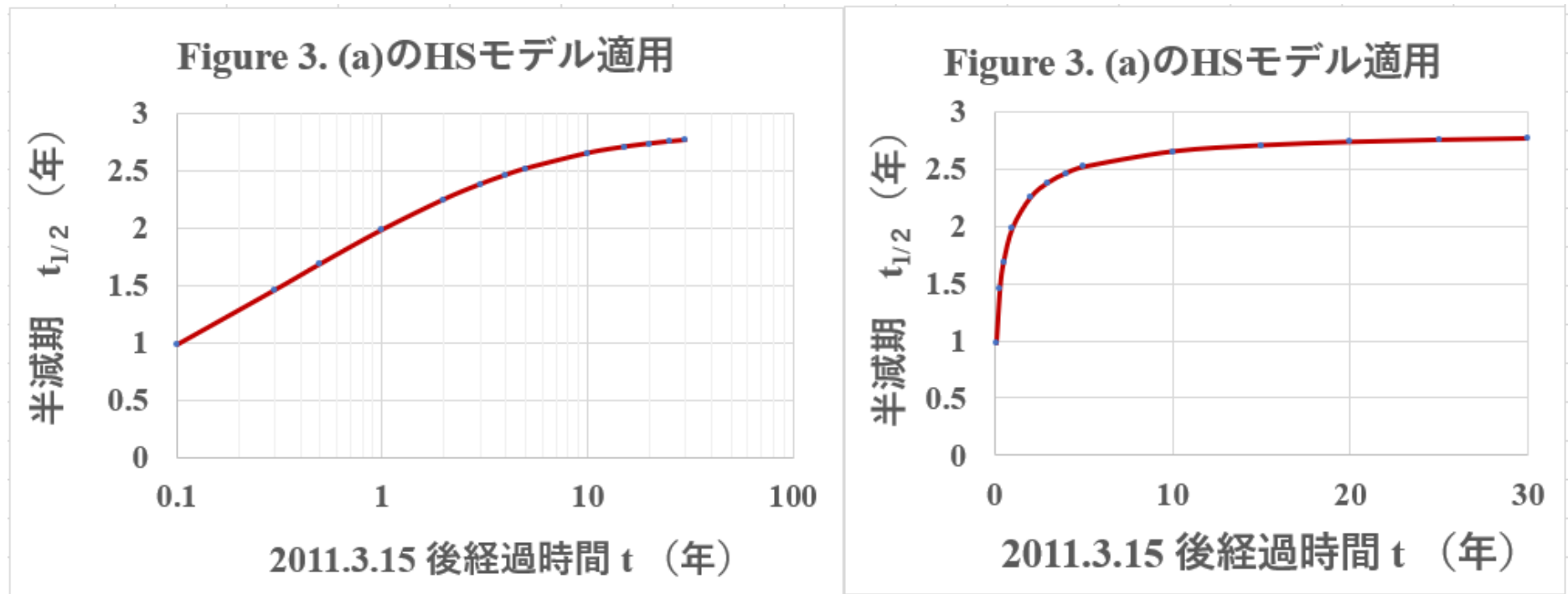
参考文献：Kumazawa (2014): Progress in Nuclear Science and Technology, 4, 875-878.  
 熊澤(2015): FBNews No.466, 8-12 ('15.10.1)

- HSモデル適用：Kinaseら(2017)図3(a) プロット  $\ln [ Y(t) ]$  vs  $\text{hyb } (\tau \cdot t)$  → 直線グラフ  
 上記の決定係数  $R^2 = 0.9888$  で直線性良好  
 → HSモデルは十分適用可能
- 式(1)モデルとの比較  
 前スライド 数年後以降、両モデルは相違、  
 30年後予測では差異が大、要検討 課題。
- HSモデルの解釈：Y(t) 減少特性  
 $t < 0.44$ 年でべき関数減少ドミナント、  
 $t > 0.44$ 年で指数関数減衰ドミナント  
 線量率Y(t)はべき関数から指数関数へ  
 連続的に時間変化する減少特性を示す  
 hybrid-hybrid graph paper (参考文献)



# つづき：HSモデル計算の半減期

- HSモデルは、べき関数減衰→指数関数減衰への連続変化モデルゆえ、半減期 $t_{1/2}$ は評価時点 $t$ で変化する。Figure 3. (a)のプロット点に基づくHSモデル計算結果を下図に示す。



HSモデル半減期計算式

cyb(x) : hyb(x) の逆関数

$$\frac{t_{1/2}}{0.7770} = \text{cyb} \left[ \text{hyb} \left( \frac{t}{0.7770} \right) + 3.6464 \right] - \frac{t}{0.7770}$$

# 実効半減期試算例

- 1FND起因空間線量率に係る経時減弱
- 実効線量(但:空気吸収線量値{Gy}≒1cm線量当量[Sv])
- 181130測定点:福島市県北保健福祉事務所南側広場 ← 福島県による定点7方部 連続監視測定結果より(福島県web-site)  
181130=15:00(09:00も同値): 0.14  $\mu\text{Sv/h}$
- 福島市における事故直後の最高値: 24.24  $\mu\text{Sv/h}$   
[<https://ja.wikipedia.org/wiki/福島第一原子力発電所事故>](181203検索)
- 試算結果: **10months** ← 減衰率時間的一定と仮定

# おわりに

- 報告書に寄稿を許されるならばさらに補完に努めて小文に纏めたい
- 関連する情報・知見の提供と学術的視点からの課題討議にご協力が得られれば幸いである
- 本研究会に参加の機会を与えて下さった主宰者の方々に感謝申し上げます
- 追加の情報  
事故直後に採取された土壌測定(阪大RCNP)  
ガンマ線を目で見るカメラ:除染への応用と  
その他の分野への展開