

2017.10.23 第28回福島県「県民健康調査」検討委員会

東京電力福島第一原子力発電事故における 住民の線量評価に関する包括研究の経過報告

国際医療福祉大学クリニック

鈴木 元

本日の話題

環境省「包括研究」による線量評価の概要

「包括研究」の3年間の中間報告

福島の小児甲状腺線量再評価値と他の報告との比較

今後の研究の方向性

環境省 原子力災害影響調査等事業(放射線の健康影響に係る研究調査事業)
東京電力福島第一原子力発電事故における住民の
線量評価に関する包括研究 (H26～H28)

東京電力福島第一原子力発電事故における住民の線量評価に関する包括研究

鈴木 元(国福大)、長谷川、大葉(県立医大)、他

ソースターム評価と大気拡散シミュレーション

永井 晴康 (日本原子力開発機構)

土壌中I-129の分析によるI-131 土壌沈着等の推計

松崎 浩之 (東大 総合博物館)

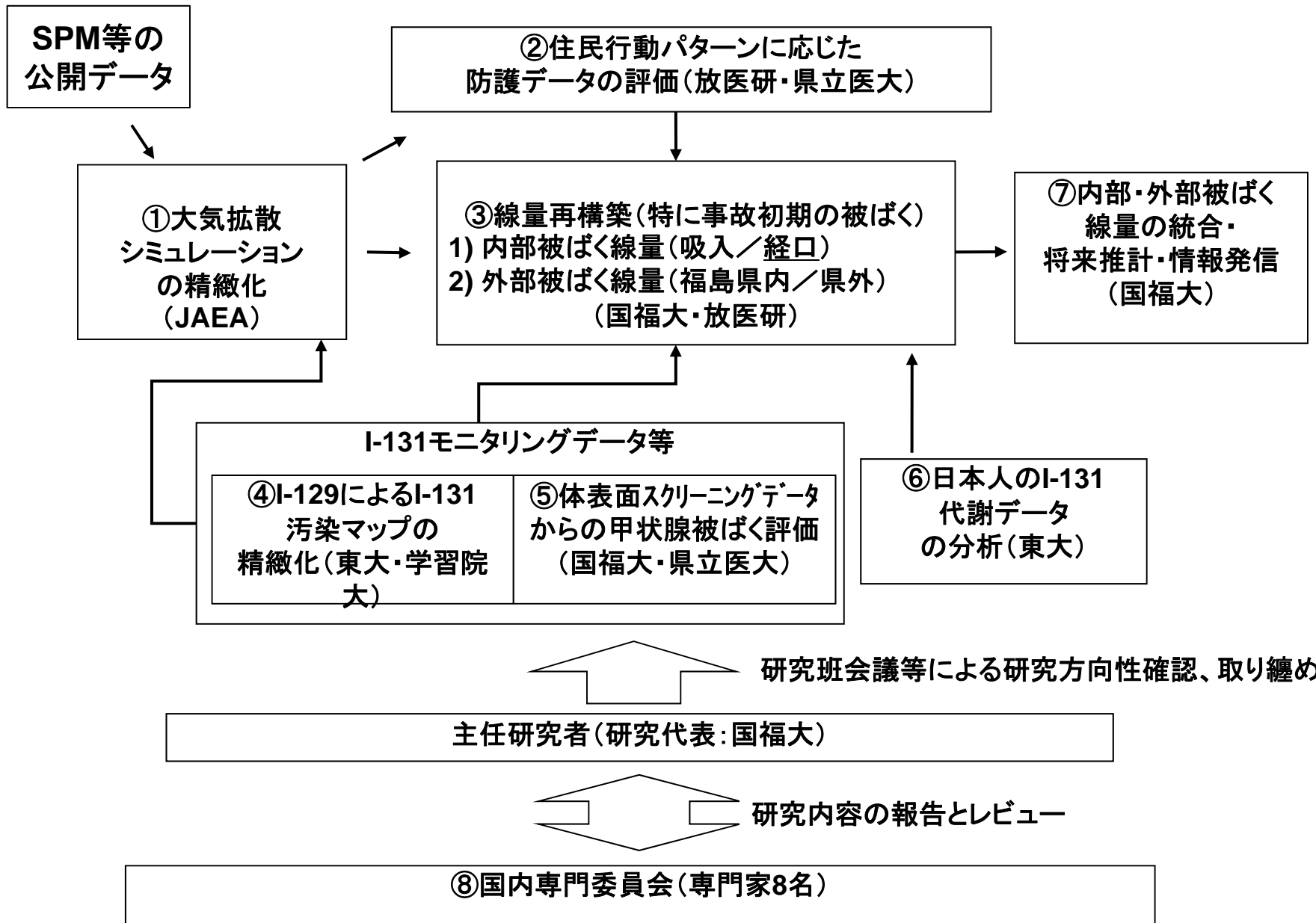
事故初期段階における住民の被ばく線量再構築

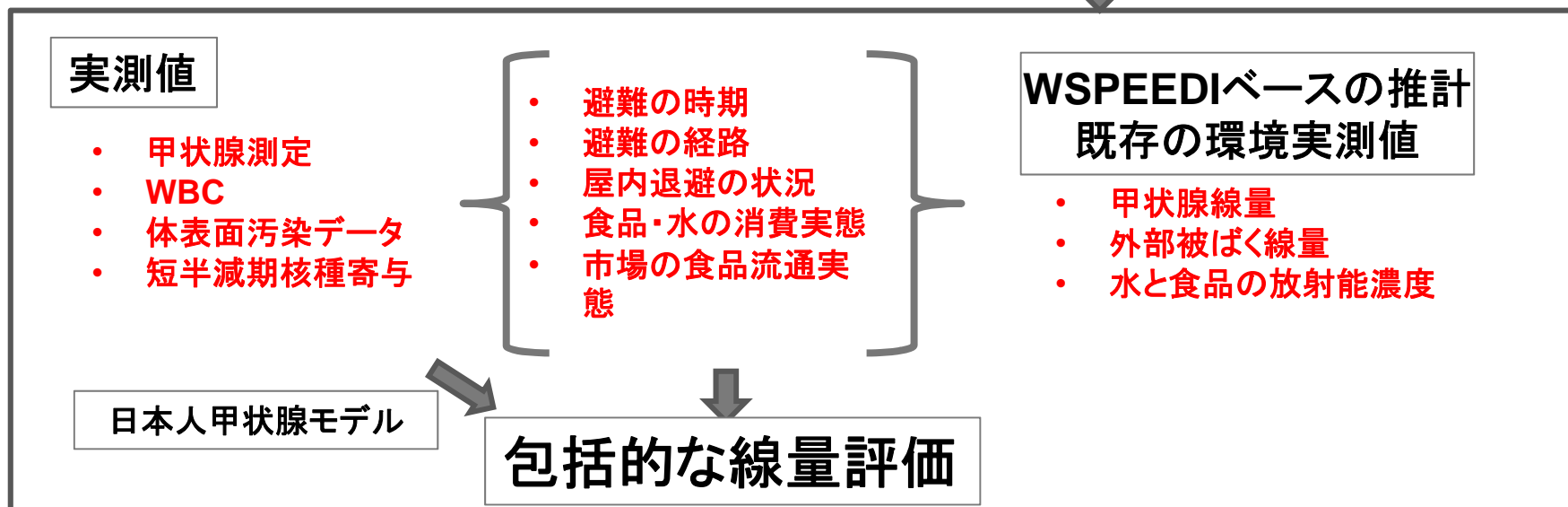
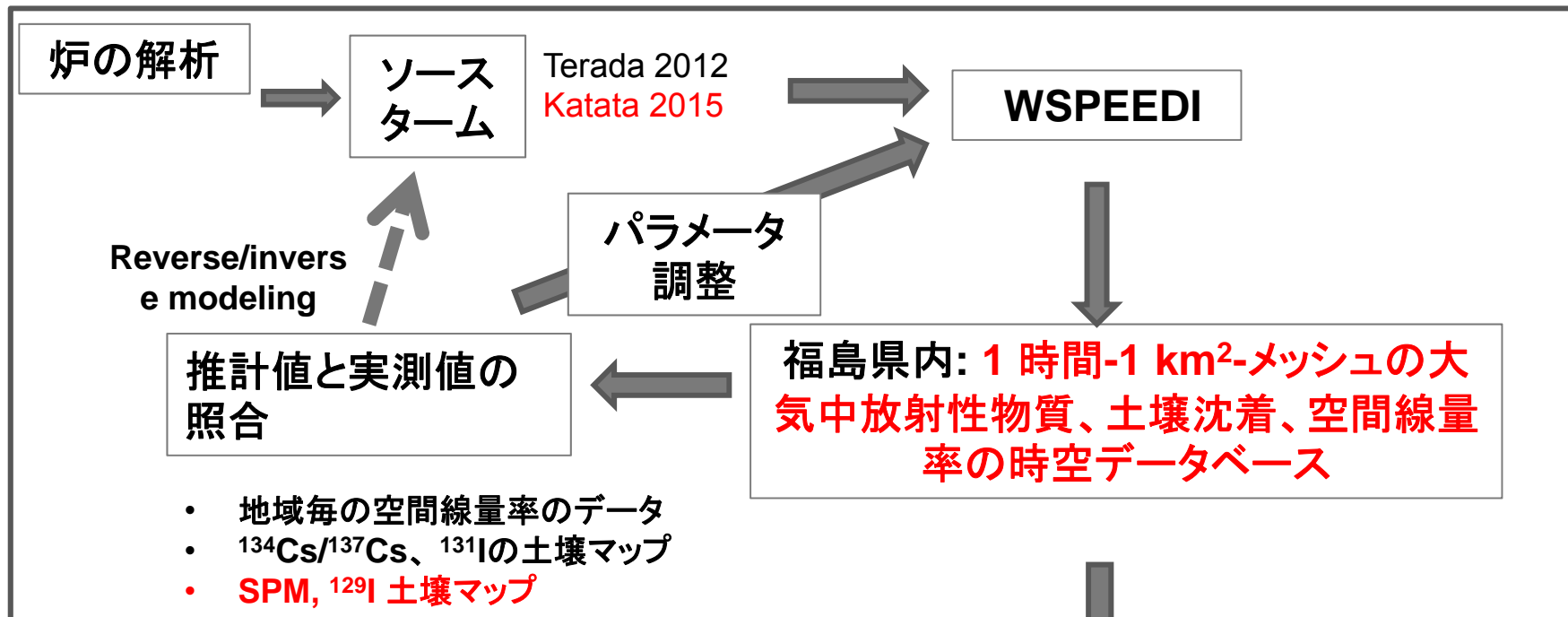
栗原 治 (放医研)

放射性ヨウ度の血中動態並びに甲状腺集積率の予測

楠原 洋之 (東大 薬学)

※H29～H30 「事故初期の住民内部被ばく線量評価の精緻化に関する包括研究」
を実施中





なぜ線量再評価が必要か？

甲状腺超音波検査で発見される小児甲状腺がんが、原発事故由来の放射線被ばくに起因するかどうか、**線量(地区平均)の推計が必要**

甲状腺の内部被ばくを起こす寿命の短い放射性核種 (^{131}I , $^{132}\text{I}/^{132}\text{Te}$, ^{133}I) の測定データが少ない (^{131}I からの線量評価に限っても 1,080名小児甲状腺検査、他 床次等の甲状腺検査など100名未満)

疫学的には甲状腺線量が50～100mGy以上でリスク増加が懸念されるところ、国連科学委員会(UNSCEAR)の**大気運搬・拡散・沈着(ATDM)シミュレーションに基づく線量評価値は、避難地域でこのレンジに入っている**

UNSCEAR評価値は、サンプル数は少なかったが早期に実施された甲状腺測定やホールボディカウンターによる線量推計値より過大評価になっている

新たな情報を取り込んで、UNSCEAR報告書の不確実性要因を低減する必要がある

表1. UNSCEAR 2013報告書

事故後1年間の地域平均の実効線量及び甲状腺吸収線量の推定値

		避難をした地区			
グループ		実効線量(mSv)		甲状腺吸収線量(mGy)	
		20歳 (成人)	1歳児 (乳児)	20歳 (成人)	1歳児 (乳児)
1	予防的 避難地域	1.1 - 5.7	1.6 - 9.3	7.2 - 34	15 - 82
	計画的 避難地域	4.8 - 9.3	7.1 - 13	16 - 35	47 - 83
		避難をしていない地域			
2	福島県 (避難区域外)	1.0 - 4.3	2.0 - 7.5	7.8 - 17	33 - 52
3	近隣県	0.2 - 1.4	0.3 - 2.5	0.6 - 5.1	2.7 - 15
4	その他の 都道府県	0.1 - 0.3	0.2 - 0.5	0.5 - 0.9	2.6 - 3.3

UNSCEAR 2013 報告書

1歳児甲状腺線量に寄与した被ばく源

予防的避難地区(富岡、大熊、田村、南相馬(小高)): 避難先での被ばくが大きい

→ 避難先の主に飲料水・食品 (36~42 mGy)

予防的避難地区(楢葉、浪江): 避難途上と避難先の寄与がほぼ拮抗

→ 避難途上の吸入被ばく(35~46 mGy)・

主に避難先の飲料水・食品(36~46 mGy)

計画的避難地域(浪江(津島)、葛尾、飯館、南相馬(原町)、川俣): 避難前・避難途上の被ばくが大きい

→ 居住地区での吸入被ばく・飲料水・食品
(45~63 mGy)

飲料水・食品からの線量を大きく見積もっている

UNSCEAR 2013 “福島報告書”

不確実性の原因と本研究での検討

不確実性の原因	本研究での検討
(112) ソースターム（放出源情報：時間当たりの核種別放出量）	Katataソースタームへ更新
(C120) ATDM パラメータ	既存の空間線量率だけでなく、SPM中の放射性セシウム連続測定分布を使って WSPEEDIのパラメータを最適化
(111) ^{131}I 測定とその空間的分布	^{129}I の土壌分布、浮遊粒子状物質SPM中の放射性セシウム連続測定
(113) 大気中の ^{131}I の粒子型とガス型（元素と有機化）の相対的量 (C121) とりわけ福島県内における相対的量	東海村と千葉以外にはデータなし 50%:50%
(C116) 家による遮蔽係数と屋内滞在時間	JAEAなどによる実測、県民健康調査 基本調査の質問票 →外部被ばく線量の推計

UNSCEAR 2013 “福島報告書”

不確実性の原因と本研究での検討

不確実性の原因	本研究での検討
(114) 市場でスクリーニングされた食品の代表性、および市場での福島産の割合 (C123) 検出限界以下の食品の取扱い (114) 食品の流通および消費の変化 (C128) 規制前の食品/水の消費実態	WBCデータの解析 マーケットバスケット法、陰膳法データ整理
	避難住民の消費実態聞き取り調査 ミルク、水道水、事故後の福島県内の流通実態
	WSPEEDIの推計を使った汚染スクリーニング前の水道水 ¹³¹ I濃度推計
(C116) 家による遮蔽係数と屋内滞在時間	避難住民の体表面汚染分布、放射能のスペクトルから線量評価
(115) ICRPモデルより低い日本人の ¹³¹ I甲状腺取り込み率	日本人甲状腺モデル (ヨウ素代謝、甲状腺体積)

3年間の包括研究による 線量推計の中間評価

1歳児の甲状腺等価線量： 外部被ばく、飲水、煮炊きの水、吸入被ばくを合わせた地区の平均値

最も高い飯舘、浪江でも 40 mSv未満

他の予防的避難地域 16 mSv未満

他の計画的避難地域 12 mSv未満

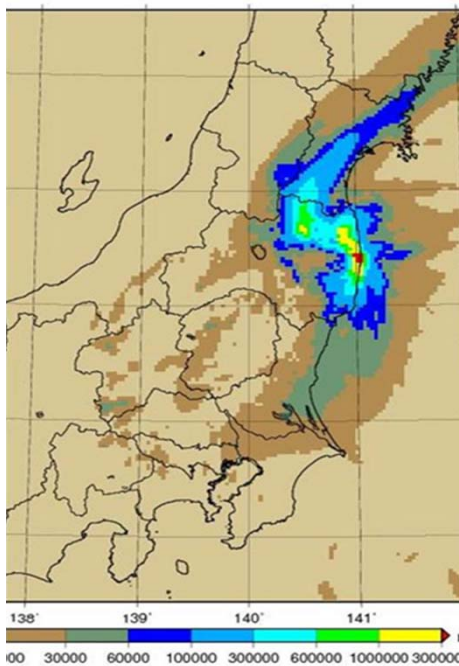
1歳児の外部被ばく、内部被ばくの合計値は、UNSCEAR報告の7%～69%の値だった

大気拡散シミュレーション WSPEEDIの精緻化

H24、H25年度

UNSCEAR-source
MM5
Old-GEARN

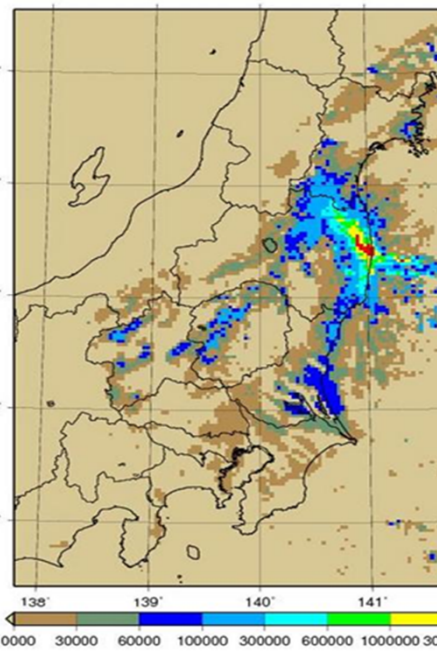
Cs-137 deposition at UTC= 2011-03-31_15h



H26年度末

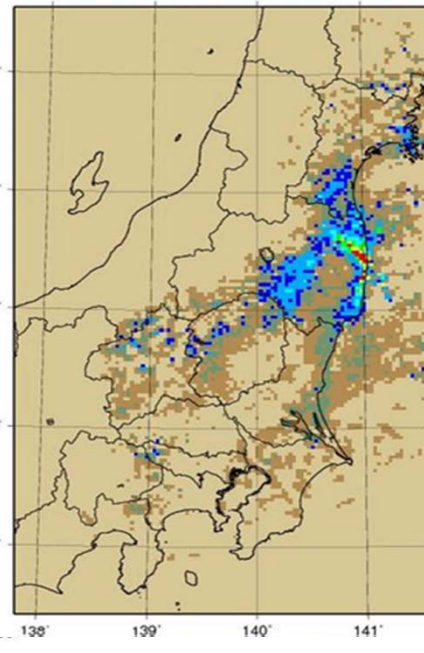
New-source
MM5
New-GEARN

Cs-137 deposition at UTC= 2011-03-31_15h



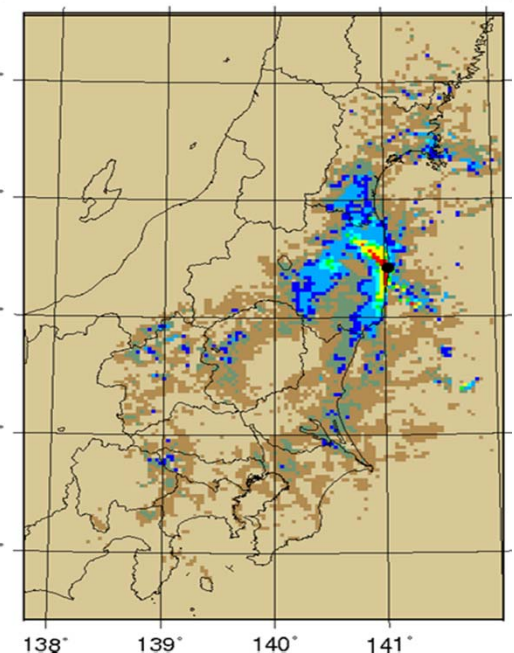
H27年度末

New-source
WRF-DA
New-GEARN
DB基本版の出力



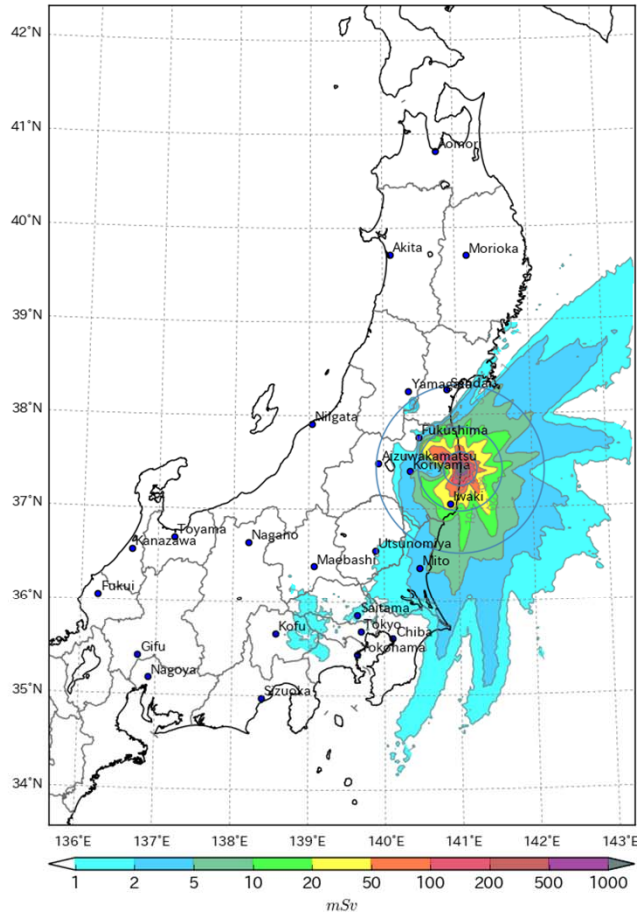
H28年度末

Optimum-source
WRF-DA
New-GEARN
DB完成版の出力

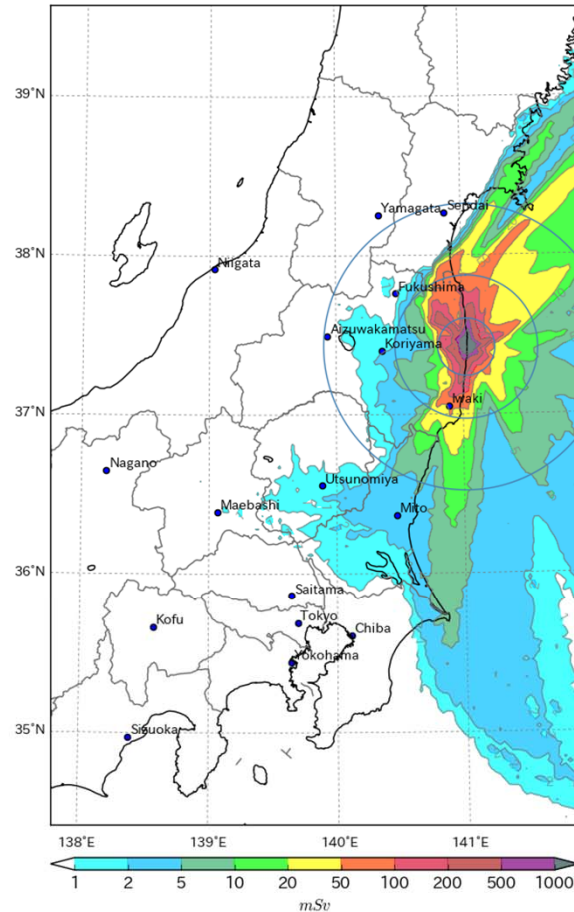


WSPEEDIの精緻化：¹³¹I甲状腺等価線量マップ (広域)

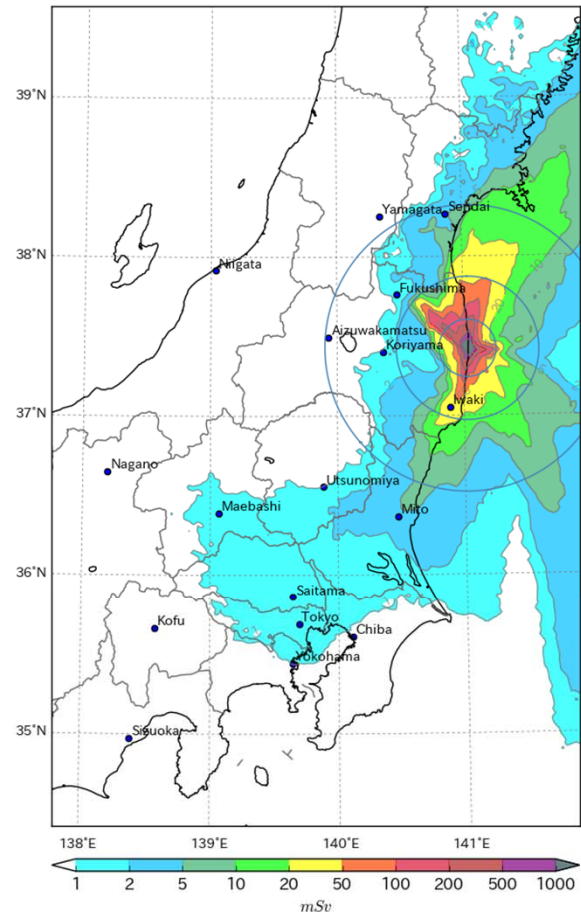
Teradaのソースターム



Katataのソースターム



修正Katataソースターム



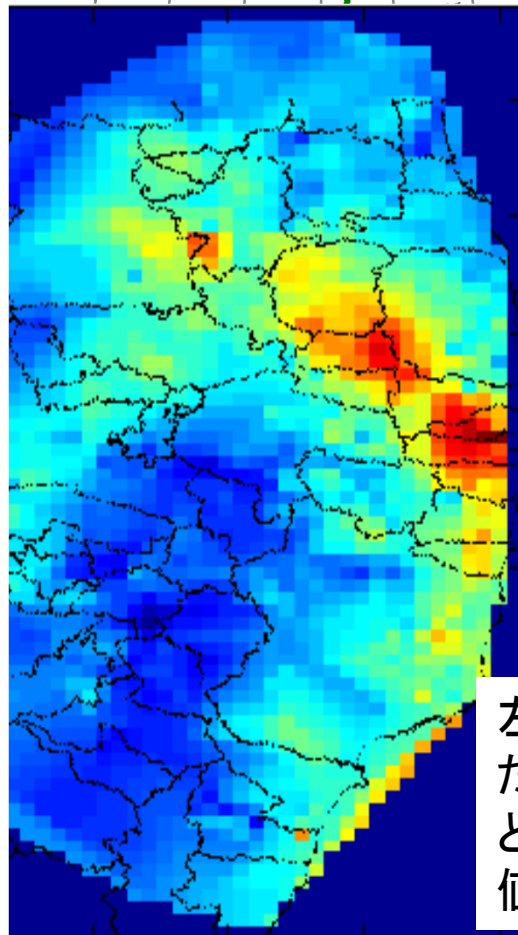
次スライドの土壌¹²⁹I測定による
¹³¹Iマップと不整合部分有り、さら
なる改良が必要

¹³¹I 土壌沈着データの精緻化

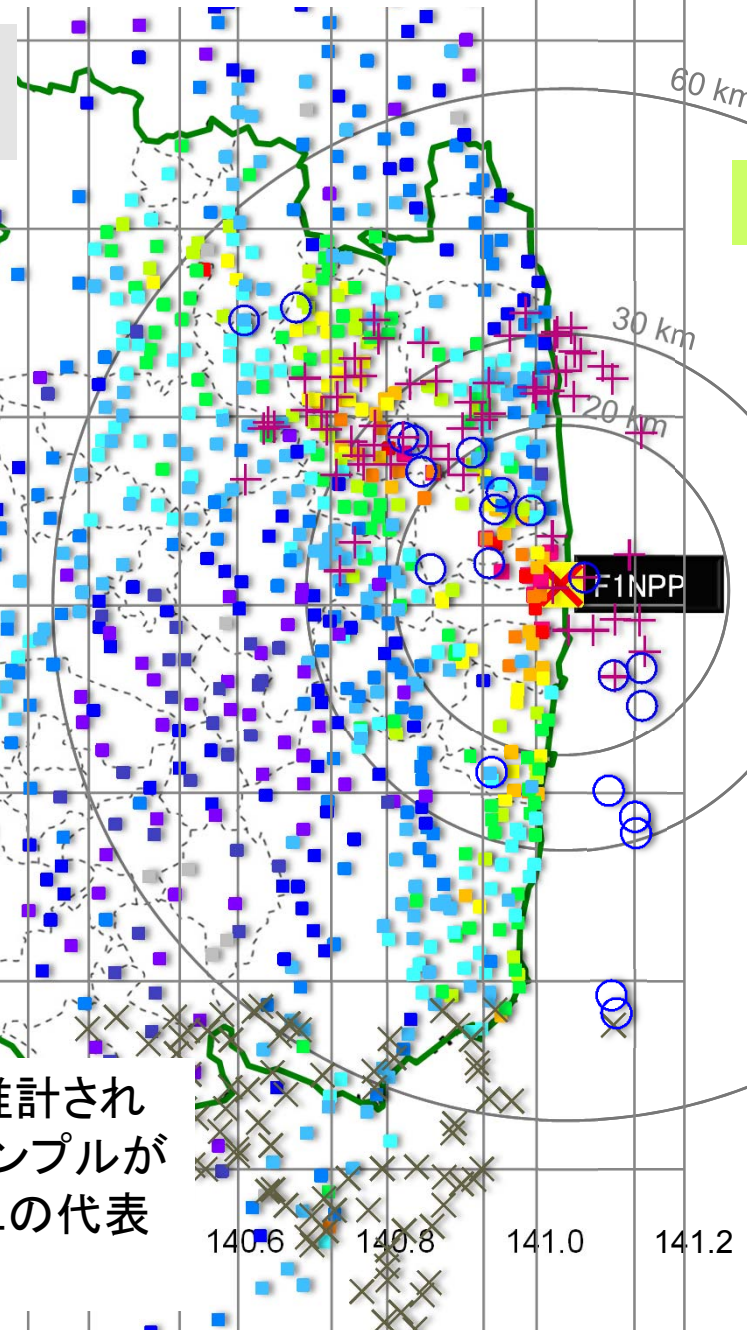
890カ所の土壌サンプルを¹²⁹Iの質量分析解析し、¹³¹Iの土壌沈着マップを充実させた

37.8

Fukushima prefecture



左図：¹²⁹I測定から推計された¹³¹I濃度を土壌サンプルがとられた2kmメッシュの代表値として表現



x South-Wes
+ new select
o detailed an
+ new select

<5.12e+12

140.6 140.8 141.0 141.2

甲状腺内部被ばく線量

WSPEEDIの環境汚染の推計だけでは、甲状腺線量を評価できない

避難行動、飲食実態を反映させる必要

経口摂取の実態 食品・水

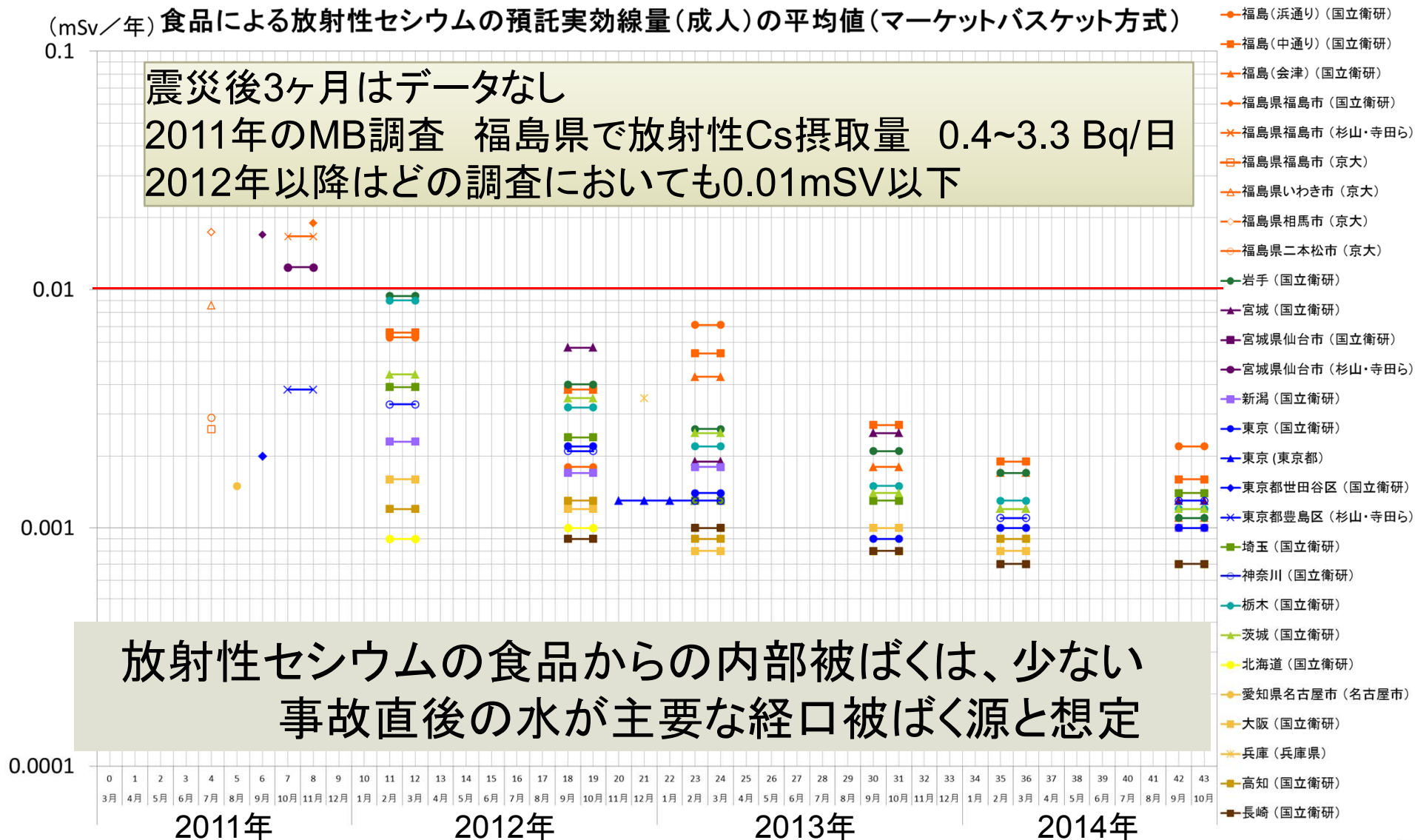


避難途上の吸入摂取 体表面汚染データを使った吸入被ばく評価 2D-モンテカルロ(2D-MC)シミュレーション

飲食実態の調査 → 水が主な汚染経路

WBCによる放射性セシウム測定値から放射性ヨウ素／放射性セシウム比を仮定して推計

経口被ばく:MB方式の調査結果(成人、平均値)



経口被ばく(水)： 内部被ばくの要因となる喫食状況調査

調査結果から得られた知見

- ヒアリング結果より3月時期に露地野菜等は一般的には摂取しておらず、一般的な避難者・非避難者における内部被ばく線量(経口摂取)は、水からの影響が大きいと考えられる。
- 測定されていない時期における水の濃度も推計し、本資料では参考として摂水量を仮定し、水道水からの内部被ばく線量を推計した。

- 避難者と非避難者の一日の摂水量を以下のように設定。

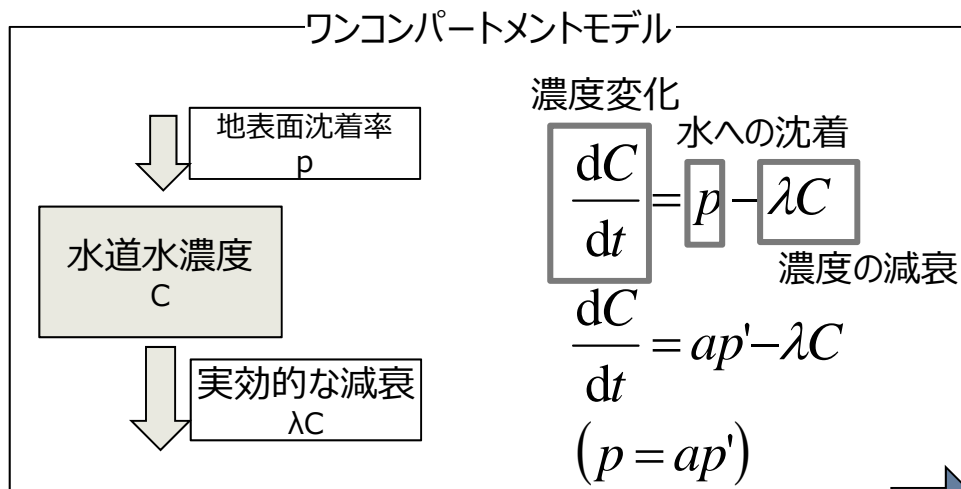
区分	年齢	対象	中央値 (ml)	算術平均 (ml)	95%値 (ml)
非避難者	□10歳 □成人	□飲料水(通常は水道水・ボトル水、市販の飲料等で摂取)をすべて水道水で摂取したと仮定 □水道水で調理した米による摂取	1,714	1,822	3,084
	□1歳	□粉ミルクから摂取			
避難者	□10歳 □成人	□飲料水をすべて水道水で摂取していると仮定(ただし、避難所でペットボトル1ℓ配布されたと仮定し、マイナス1ℓ) □水道水で調理した炊き出し(おにぎり、汁物、カップ麺)による水の摂取	1,130	1,174	2,100
	□1歳	□粉ミルクから摂取			

経口被ばく(水): 水道水の放射能濃度推計 (1-コンパートメントモデル)

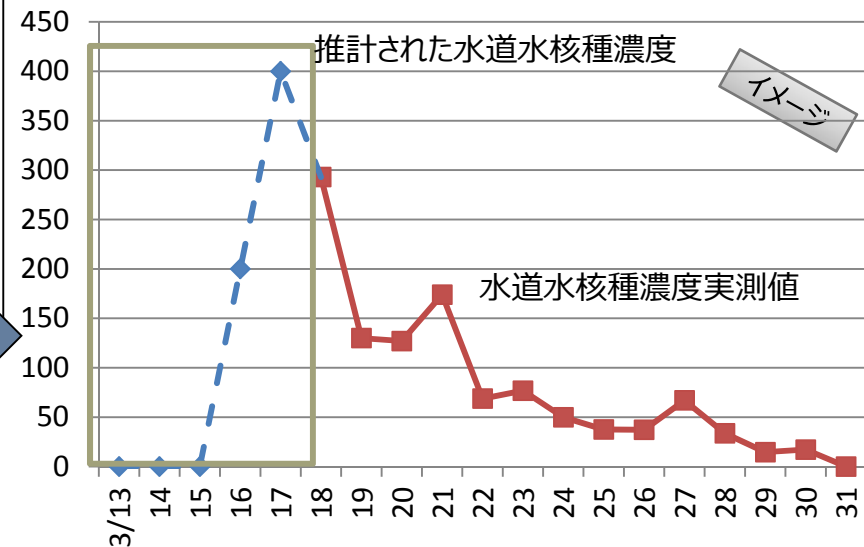
水道水の放射能濃度は、1-コンパートメントモデルを用いて推計を行う。

水道水の核種濃度変化が、新たな放射性物質の水への沈着率と放射性物質の実効的な減衰で表されるモデル。

水への沈着率は、拡散シミュレーションによる地表面沈着率に換算係数を掛けることで算出。
 dC/dt を水道水中濃度の変化、 C をある時点での水道水中濃度、 p' を地表面沈着率として代入し、パラメータの換算係数 a と実効減衰係数 λ を最小2乗法等で求める。



C	水道水中の核種濃度 (Bq kg ⁻¹)
p	水への沈着率 (Bq kg ⁻¹ d ⁻¹)
p'	地表面沈着率 (Bq m ⁻² d ⁻¹)
a	換算係数 (m ² kg ⁻¹)
λ	実効減衰係数 (s ⁻¹) 赤字: 未知



経口被ばく(水)：避難ルートに沿った線量

- 以下の浪江町、南相馬市、飯館村の避難ルートを想定し、水道水濃度とそれに沿った線量を推計した。

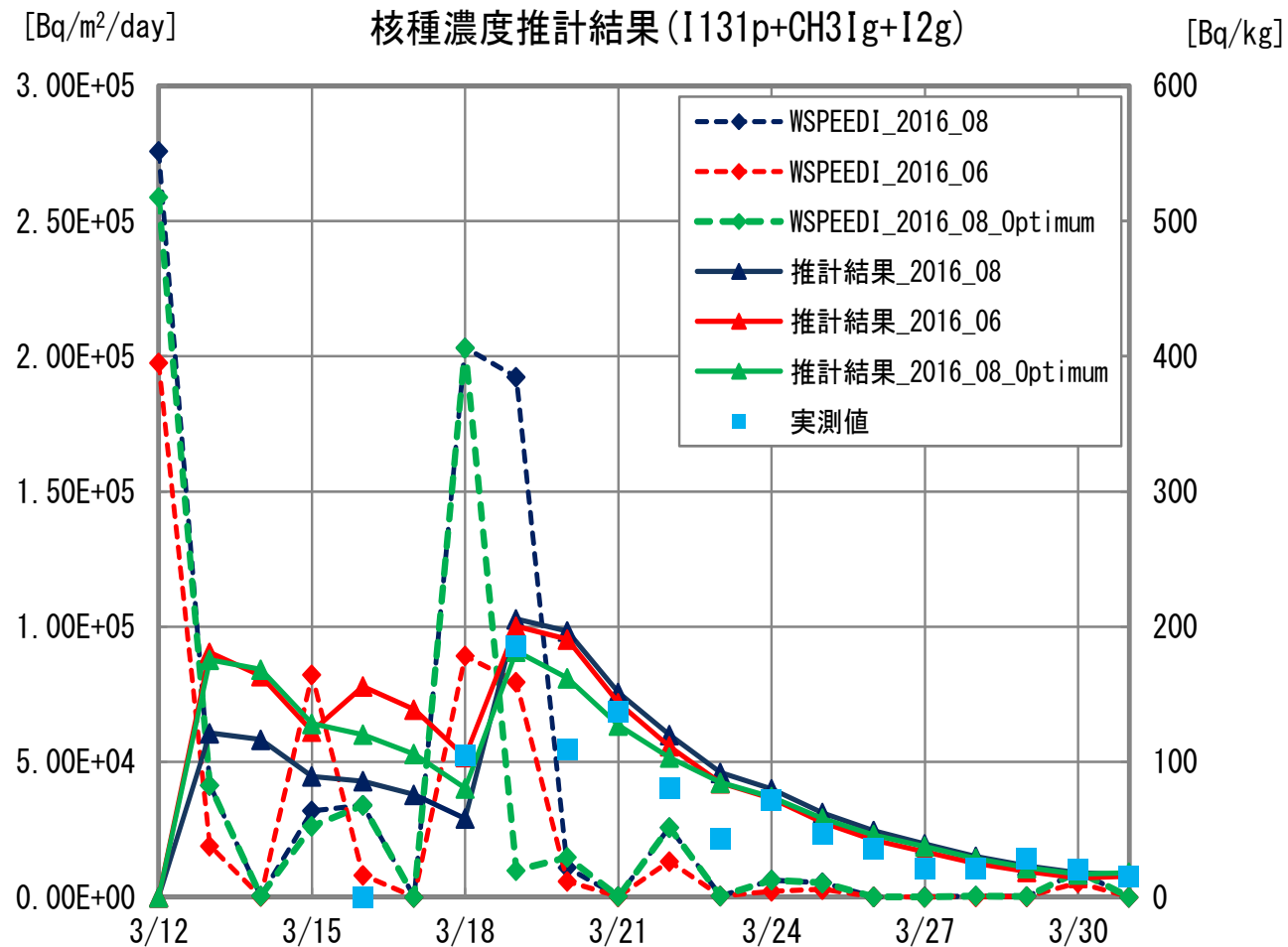
	避難パターン
浪江町	3/11(浪江町)浪江町役場、3/12(浪江町)津島活性化センター、3/15(二本松市)東和第一体育館
南相馬市①	3/11(南相馬市原町区)テクノアカデミー浜、3/12(南相馬市原町区)石神第二小学校、3/15に(伊達市)梁川体育館
南相馬市②	浪江町住民とともに 3/12(浪江町)津島活性化センター、3/15(二本松市)東和第一体育館(計算上は浪江町避難ルートと同様)
飯館村	3/11(飯館村)草野小学校体育館へ避難、3/19栃木県へ避難

摂取量 平均値 (/day)	非避難者	避難者	I-131 (Sv/Bq)			
			成人	10歳	1歳	
1歳	1.0L	1.0 L	預託実効線量 換算係数	2.20×10^{-8}	5.20×10^{-8}	1.80×10^{-7}
10歳	1.8 L	1.2 L	甲状腺預託等価線量 換算係数	4.30×10^{-7}	1.00×10^{-6}	3.60×10^{-6}
成人	1.8 L	1.2 L				

避難者はペットボトル 1L 配給。上記摂取量は、1歳児を除きペットボトル分を差し引いている

水道水の放射能濃度推計結果:南相馬市(南相馬合同庁舎)

- 水道水の放射能濃度推計の結果を以下に示す。



経口被ばく(水)： 避難住民の甲状腺等価線量 (mSv)

	避難者											
	田村	川俣	広野	楢葉	富岡	大熊	双葉	葛尾	川内	浪江	南相馬	飯舘
1歳児	5.6	4.9	2.0	4.3	10	5.6	3.5	0.3	10	6.3	6.1	22
10歳児	1.9	1.6	0.7	1.4	3.4	1.9	1.2	0.1	3.4	2.1	2.0	11
成人	0.8	0.7	0.3	0.6	1.5	0.8	0.5	0.0	1.5	0.9	0.9	4.7

乳児は粉ミルク100%と仮定。混合栄養(母乳:粉ミルク=1:1)なら、評価値の約60%の値、母乳100%なら評価値の20%以下

南相馬： 3/12 小高 → 原町 → 3/23に新潟避難のシナリオ

飯舘： 段階的避難シナリオ、井戸、主要3水源地からの供給割合を考慮。3/21以降はペットボトル

経口被ばく(水)： 非避難住民の甲状腺等価線量 (mSv)

	非避難者							
	浜通り				中通り			会津/南 会津
	いわき	原町	新地	相馬	県北	県中	県南	
1歳児	4.0	6.1	3.6	2.8	0.4~1.2	0~9.4	0.7~ 9.5	0.0~0.9
10歳児	2.0	3.1	1.8	1.4	0.2~0.6	0~4.7	0.3~4.8	0.0~0.5
成人	0.9	1.3	0.8	0.6	0.1~0.3	0~2.0	0.1~2.0	0.0~0.2

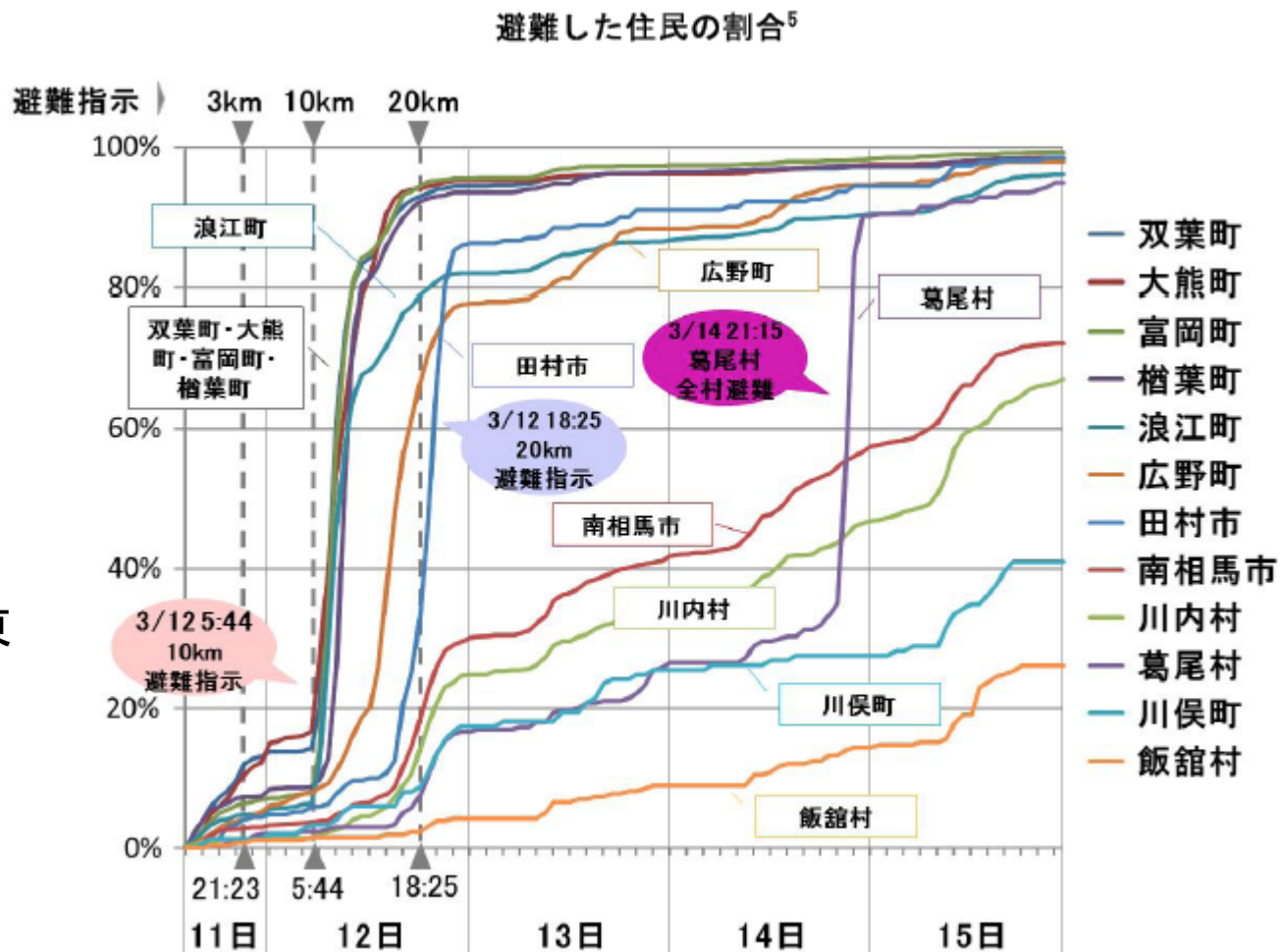
原町 : 3月22日までは自宅で煮炊き、3月23日に新潟へ避難したシナリオ

三春 : 3月15日安定ヨウ素剤服用により16日、17日にそれぞれ90%,30%低減効果

吸入被ばく：避難時期と避難ルートにより、吸入曝ばくのレベルが異なる

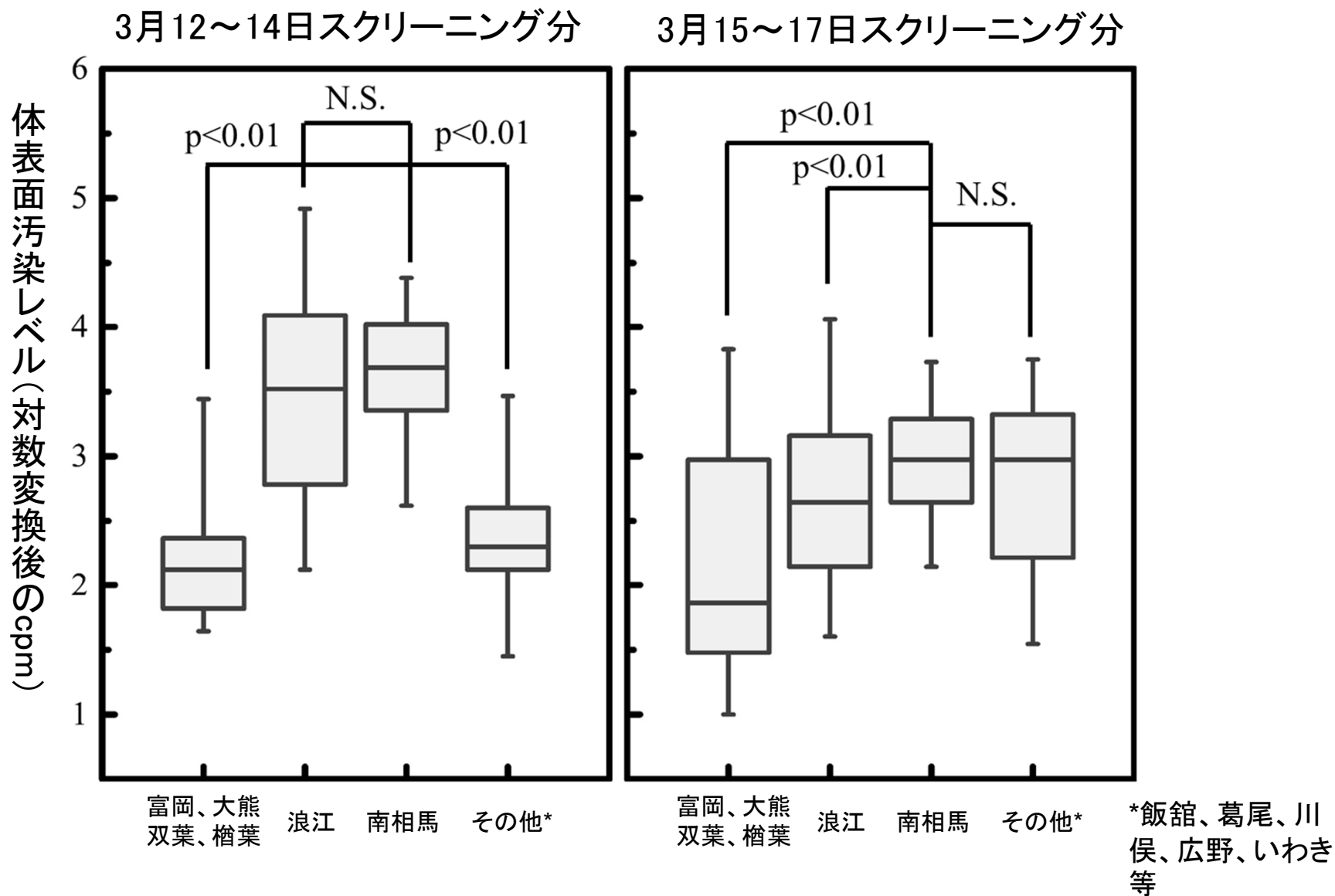
3月12日プルーム
午後北東へ向かう

3月15日のプルーム
早朝に南へ向かい、夕方までに時計回りに北東へ向かう

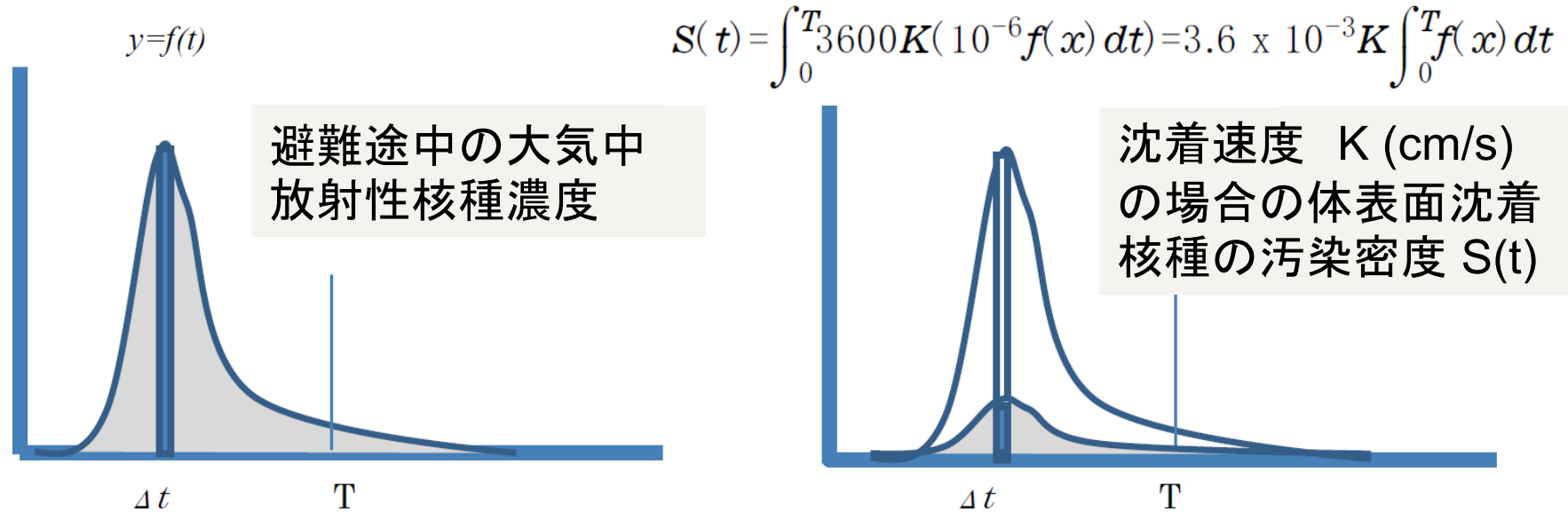


国会事故調、アンケート結果

吸入被ばく： 3月12日、15日のプルーム曝露の地域差 頭部汚染レベルの分布

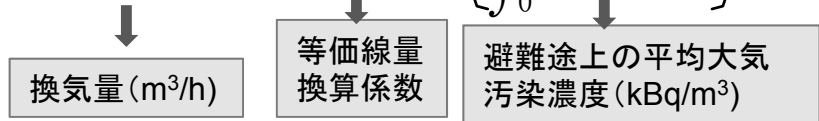


吸入被ばく： 体表面汚染核種密度から 吸入被ばく量を推計



¹³¹I を例にとると、時間”0” から”T”までの1歳児の累積甲状腺線量 D(T) は、

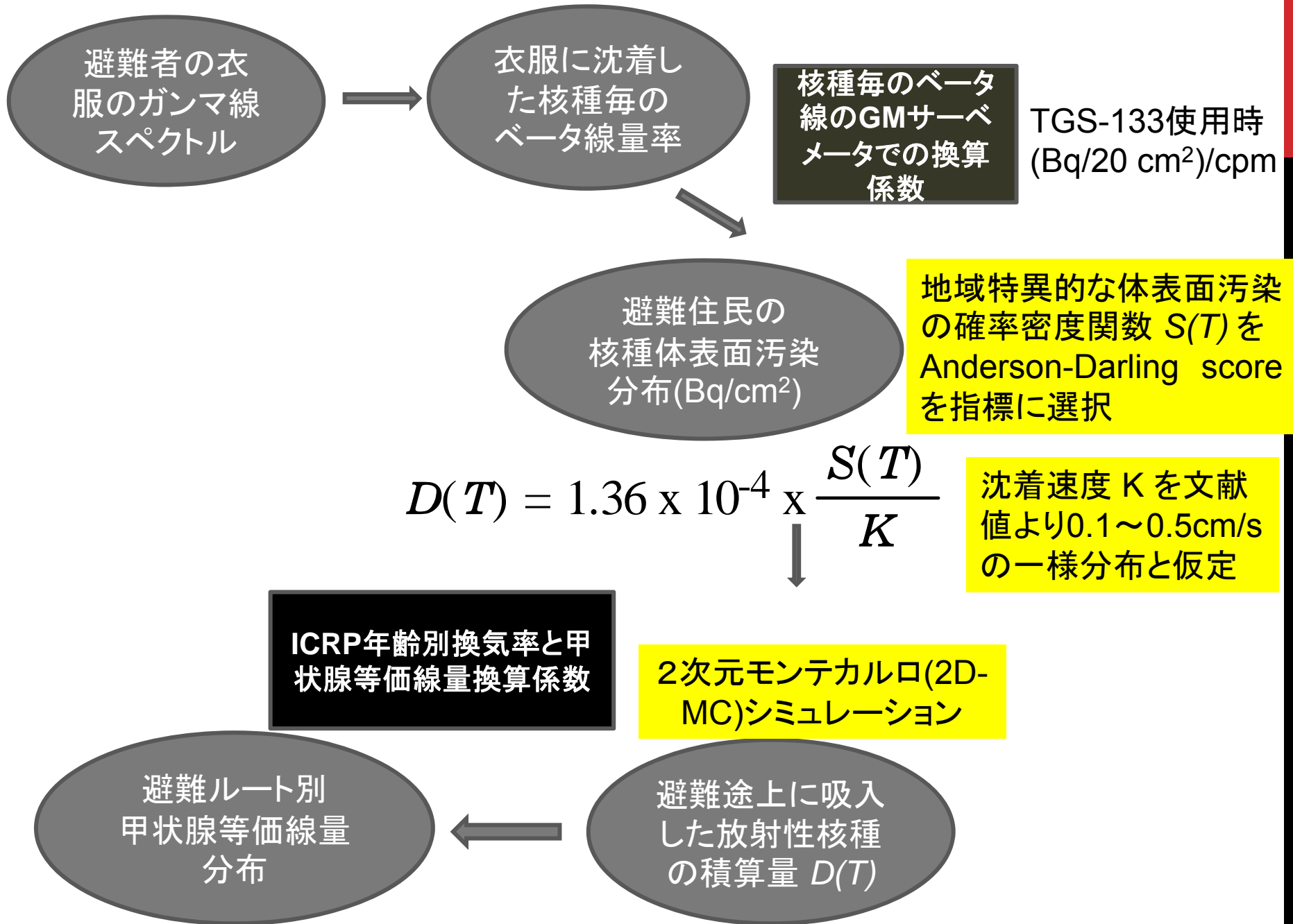
$$D(T) = 0.35 \times T \times 1.4 \times 10^{-6} \left\{ \int_0^T f(t) dt / T \right\} = 4.9 \times 10^{-5} \int_0^T f(t) dt$$



$$S(T) = 3.6 \times 10^{-3} \times K \cdot D(T) / 0.35 \times 1.4 \times 10^{-6} = 7.35 \times 10^3 K \cdot D(T)$$

$$D(T) = 1.36 \times 10^{-4} S(T) / K$$

一方、S(t)は 衣服の核種割合核種のベータ線放出率、GMサーベイメータの実測値、核種毎のベータ線測定線源効率及び機器効率を使い計算可能



吸入被ばく： 2D-MCシミュレーション による甲状腺等価線量推計

地区グループ	年齢	平均値 (90% UI)	中央値	90%-tile 値
富岡・大熊・ 双葉・楢葉	1歳児	6.1 (3.2-12.6)	0.5	5.8
	10歳児	5.5 (2.8-11.3)	0.4	5.2
	成人	3.0 (1.6-6.2)	0.2	2.9
浪江	1歳児	31.4 (16.2-64.5)	5.1	50.8
	10歳児	26.6 (13.7-54.6)	4.4	40.1
	成人	14.5 (7.5-29.9)	2.4	23.6
南相馬	1歳児	8.3 (4.3-17.0)	6.5	16.8
	10歳児	7.1 (3.7-14.6)	5.6	14.4
	成人	3.9 (2.0-8.0)	3.1	7.9
その他*	1歳児	3.7 (1.9-7.6)	1.6	9.2
	10歳児	3.3 (1.7-6.7)	1.4	8.2
	成人	1.8 (0.9-3.7)	0.8	4.5

*飯館、葛尾、川俣、
広野、いわき等

甲状腺実測値ベースの線量評価とシミュレーションベースの線量評価との比較における注意点

① ^{131}I 甲状腺取り込み率の問題: 10%~20% vs. 30%

甲状腺直接計測に基づく甲状腺線量評価や、甲状腺直接計測値の分布とWBCによる ^{134}Cs 測定分布との比較から $^{131}\text{I}/^{134}\text{Cs}$ 比を求め、間接的に ^{131}I 摂取量を求める手法では、 ^{131}I の甲状腺取り込み率は、個人の実態を反映。日本人では10%~20%との報告(吉沢ら、Kuniiら、楠原ら)

他方、水消費量や2D-MCシミュレーションに基づく線量評価では、ICRPモデルの ^{131}I の甲状腺取り込み率30%が使われている

② **短半減期核種の寄与:** 甲状腺測定値やWBC測定値からの評価では、 ^{131}I の線量を推計している。短半減期核種の寄与が3月12日のプルームで高いため、3月12日のプルーム曝露量が多い浪江や小高地区からの避難者では、その寄与分を推計する必要

③ **WBCの過大評価:** WBCでは、衣服汚染や慢性摂取の影響があり、3月中旬の急性摂取と仮定した計算では過大評価になる

包括研究中間報告の甲状腺等価線量評価値と他の研究の評価値との比較

WBCによる¹³⁴Cs測定値から、¹³¹I/¹³⁷Cs比=3.8を仮定して¹³¹I摂取量を推計
Kim et al: *Health Phys.* 111: 451-464, 2016

浪江成人614名のWBC: Momoseらの報告。CEDの中央値 0.02mSv、90%-tile値0.10mSv。3月12日と3月15日プルームの¹³¹I曝露率を体表面汚染データより推計し、短半減期核種補正。

浪江1歳児の甲状腺等価線量 **50%-tile値** 6.8 mSv
90%-tile値 34 mSv

包括研究 浪江1歳児の吸入被ばくと 経口摂取からの甲状腺等価線量

50%-tile値 5.1 mSv + 6.3 mSv* = **11.4 mSv (7.6 mSv\$)**

90%-tile値 50.8 mSv + 6.3 mSv* = **57.1 mSv (38 mSv\$)**

(* 津島経由で3月15日二本松に避難した場合の経口摂取分)

\$日本人の¹³¹I甲状腺取り込み率を30%ではなく、実測値に近い20%として計算。

包括研究中間評価:1歳児の甲状腺線量推計

	1.事故後 4ヶ月の外 部被ばく* (mSv)	2. 吸入被 ばく平均値 (mSv)	3. 経口被ばく 平均値 (mSv)	1+2+3	UNSCEAR 2013 平均値 (mGy)
富岡	0.7	6.1	10.2	17.0	49
大熊	0.9		5.6	12.6	36
双葉	0.8		3.6	10.5	15-19
楢葉	0.5		4.3	10.9	69-82
浪江	1	31.4	6.3	38.7	81-83
南相馬	0.8	8.3	6.3 (津島経由 で避難)	15.4	47-53
			6.1 (原町で屋 内退避)	15.2	

* 県民健康調査
行動調査データより推計

吸入被ばくは3/17日までの評価値、
経口被ばくは3月31日までの評価値

包括研究中間評価： 1歳児の甲状腺線量推計

	1.事故後 4ヶ月の外部被ばく *(mSv)	2. 吸入被ばく 平均値 (mSv)	3. 経口被ばく 平均値 (mSv)	1+2+3	UNSCEAR 2013 平均値 (mGy)
飯舘	4.1	3.7	22	29.8	56
川俣	0.8		4.9	9.4	65
田村	ND		5.6	9.3 + a	44
広野	0.5		2	6.2	34
川内	0.8		10.2	14.7	47
葛尾	0.8		0.3	4.8	49
いわき	0.3		4	8	33-52
中通(県北)	1.4	0.4 ~ 1.2	(1.8~2.6) + a		
中通(県中)	1	0~9.4	(1~10.4) + a		
中通(県南)	0.6	0.7~9.5	(1.3~10.1) + a		
会津	0.2	0~0.9	(0.2~1.1) + a		
南会津	0.1	ND	0~0.7	(0.1~0.8) + a	

* 県民健康調査
行動調査データより推計

吸入被ばくは3/17日までの評価値、
経口被ばくは3月31日までの評価値

結論

- ソースタームの改定、WSPEEDIの気象計算モデル、沈着パラメータ等の改良により、土壌沈着データや空間線量率測定値との整合性が向上
- 避難途上の吸入被曝を避難住民の体表面汚染密度(^{131}I , $^{132}\text{I}/^{132}\text{Te}$, ^{133}I)より推計し、短半減期核種を含めた線量を初めて評価
- 実測値のない初期の飲料水・煮炊き水からの内部被ばく平均値を推計
- 体表面汚染分布を使った2D-MCシミュレーションによる1歳児の吸入被ばくの中央値、90%-tileと水からの線量の平均値の和は、
浪江の成人WBCから $^{131}\text{I}/^{134}\text{Cs}$ 比=3.8で計算した値より高めの評価、
しかし、甲状腺 ^{131}I 取り込み率20%とすると、ほぼ同じ
 - 2D-MCシミュレーション、飲水からの評価が一定の妥当性を持つ
 - 浪江とほぼ同じ時期に実施した飯舘や川俣のWBCとの比較においては、飲水からの内部被ばくが相対的に高いため、飲水からの線量を平均値でなく、幅のある値で比較する必要がある

結論

- 1歳児の外部被ばく、内部被ばくからの甲状腺等価線量の平均値は、UNSCEAR報告の7%～69%となった
- 1歳児の甲状腺等価線量の平均値は、全ての地域で40mSv未満
- 計画的避難地域住民の避難時期、時期毎の避難割合、飲水量の幅に不確かさがある
- 日本人の甲状腺¹³¹I取り込み率の不確かさが、実測値ベースの線量評価との比較において問題となる

今後の予定(H29年度、H30年度)

WSPEEDIの不確実性の低減： SPMの¹²⁹I濃度データとの照合作業。アンサンブル計算。

住民の行動調査との照合： 段階的避難シナリオを採用している飯舘や南相馬(原町地区、鹿島地区)等の経口摂取や吸入による被ばくの再評価

3月17日以降のプルーム曝露が大きかった地域の吸入被ばくの推計。

日本人の年齢別飲水量の幅を含めた線量評価： 厚労省研究班との連携

1歳児 1L 成人 1.8L は、飲水量平均値としては安全側

日本人甲状腺モデルの検討： 体積、甲状腺取り込み率

最終年度に線量再評価