



放射線

鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著

中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円+税

- 1章 放射線とは? 《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質 《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価 《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方 《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質 《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響 《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響 《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業 《植物栄養学・土壤肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全 《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線 《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

2016年度 Aセメスター 主題科目学術フロンティア講義

放射線

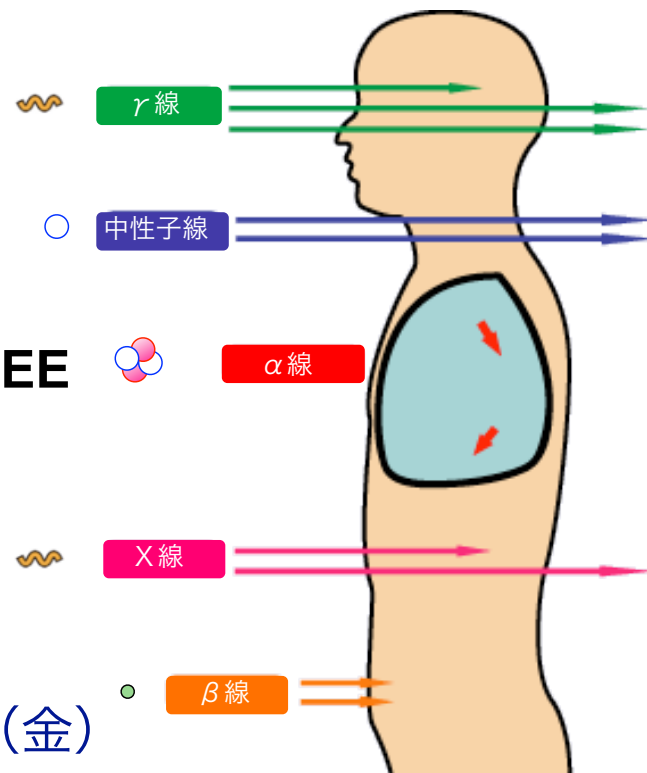
を
科学的に
理解する

金曜 5 限

@ 21 KOMCEE
(West)

K303教室

2016 / 11 / 11 (金)



第7回

被曝調査・医療支援

福島事故後の内部被曝の現状、現場での医療支援

坪倉 正治

相馬中央病院・南相馬市立総合病院

放射線を科学的に理解する

- 9/30 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 7 放射線物理学 【鳥居】
- 10/14 放射線計測学 【小豆川】
- 10/21 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/28 環境放射化学 【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学 【渡邊】
- 11/11 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 12/ 2 原子核物理学・原子力工学
- 12/ 9 放射線医療 【芳賀】 【鳥居】
- 12/16 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/23 環境放射化学 【小豆川】
- 1/ 6 放射線の利用 【渡邊】
- 1/12 加速器科学・放射線防護学
(木曜振替) 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

芳賀 昭弘 《医学部附属病院放射線科》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

原発23kmでの医療支援 今現場で何が起きているか

相馬中央病院・南相馬市立総合病院

内科

坪倉正治



相双地域

相馬郡

双葉郡

福島県

山形県

宮城県

新潟県

中通り

浜通り

会津

奥羽山脈

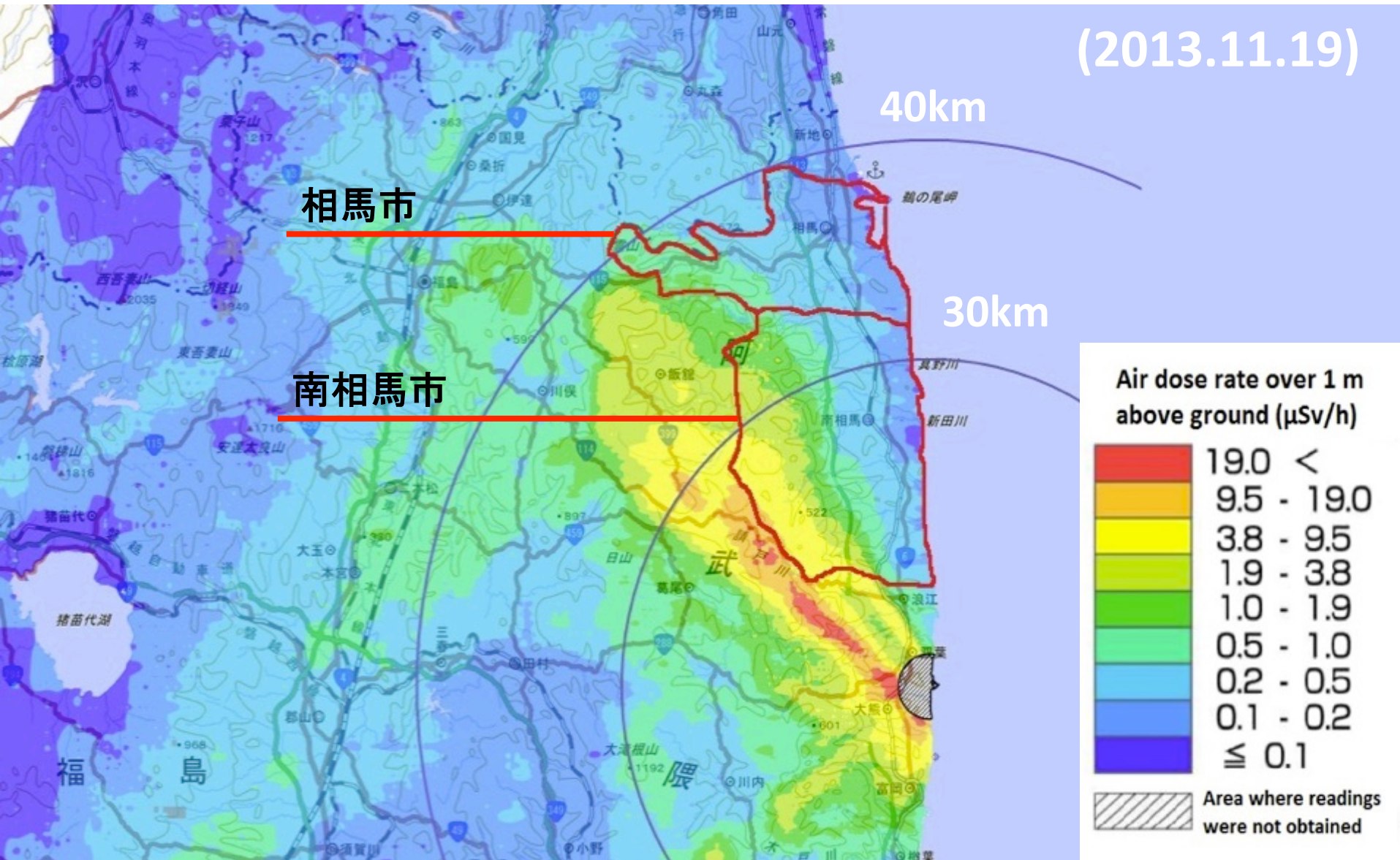
阿武隈山地

群馬県

茨城県

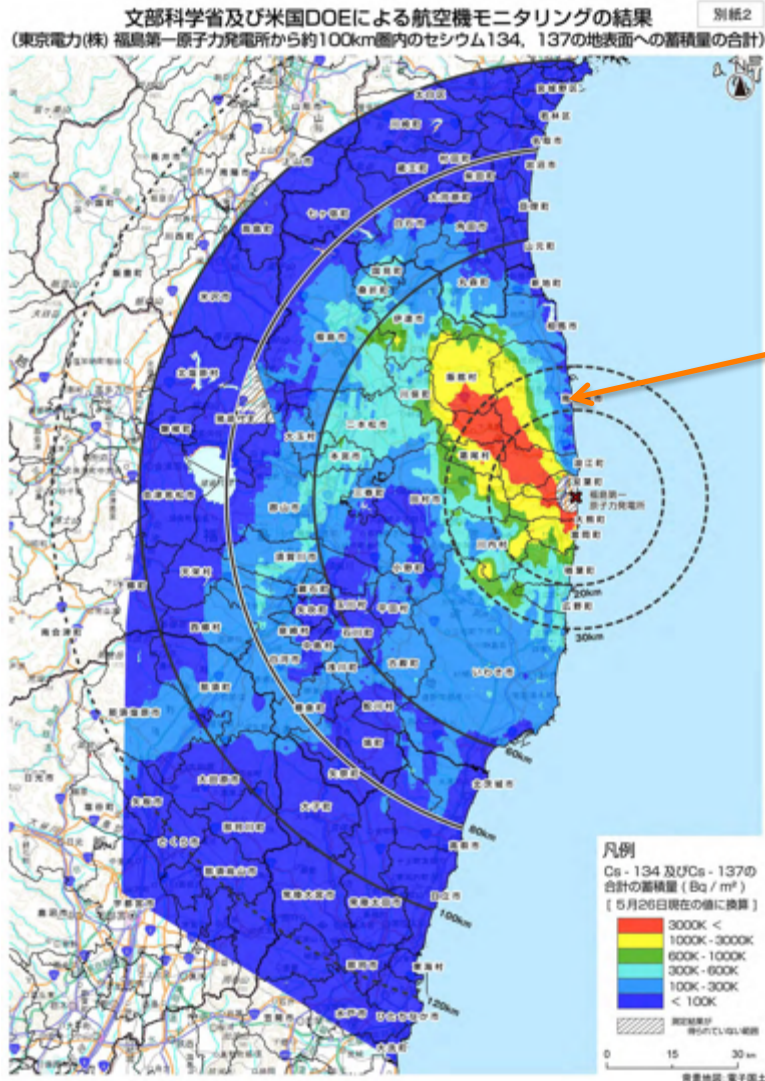
空間線量率

(2013.11.19)



(Source: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)

南相馬市立総合病院



- 原発から23km
- 230床
- 空間線量 0.1 ~ 0.2 $\mu\text{SV/h}$

南相馬市人口

70,000 → 10,000 → 50,000

放射線災害における健康被害の本体は何か？

- 超急性期・初期避難による影響
- 放射線被ばく・発がんによる影響
- 不安・個人の生活環境変化による影響
- 社会変化・高齢化による影響
- 歴史の問題？.....

- 3/11 14:46 地震発生
- 3/11 15:37 津波
- 3/11 19:03 原子力緊急事態宣言
- 3/11 21:23 1Fより半径3km以内避難指示

- 3/12 5:44 1Fより半径10km以内避難指示
- 3/12 15:36 1F 1号機建屋 水素爆発
- 3/12 18:25 1Fより半径20km避難指示

- 3/14 11:01 1F 3号機建屋 水素爆発
- 3/15 11:00 1Fより半径20km～30km 屋内退避指示

March 14 am 11:01 F1 3号機水素爆発



緊急全体会議 11:15

病院に残るかどうかは病院スタッフ各人の判断にゆだねる

避難は必要である。しかし、



3月15日～3月18日:バスによる市民の避難開始

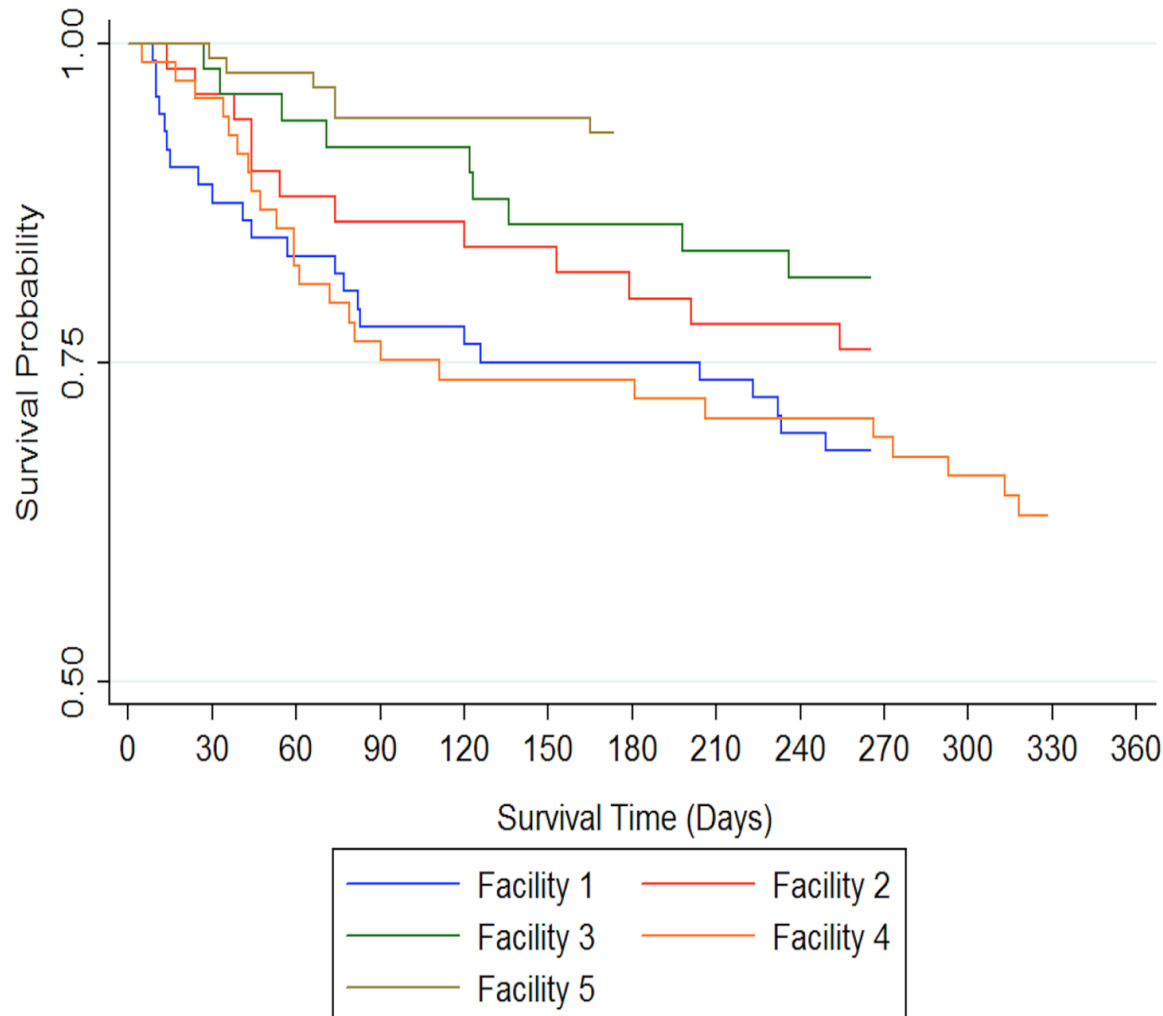
自衛隊の車両を使用した患者搬送

92名 新潟へ搬送



3月20日 9:00 入院患者は零

Fig. Estimated post-earthquake survival by facility



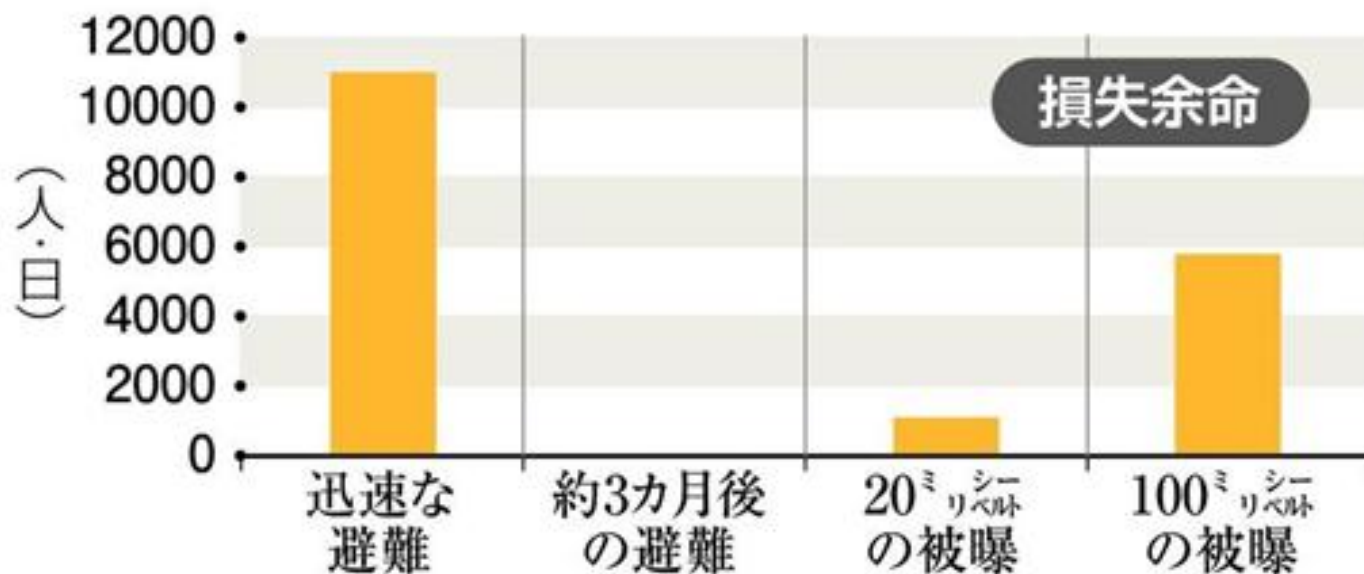
Significant mortality risk among elderly at the initial evacuation

Facility-specific disaster plans are needed

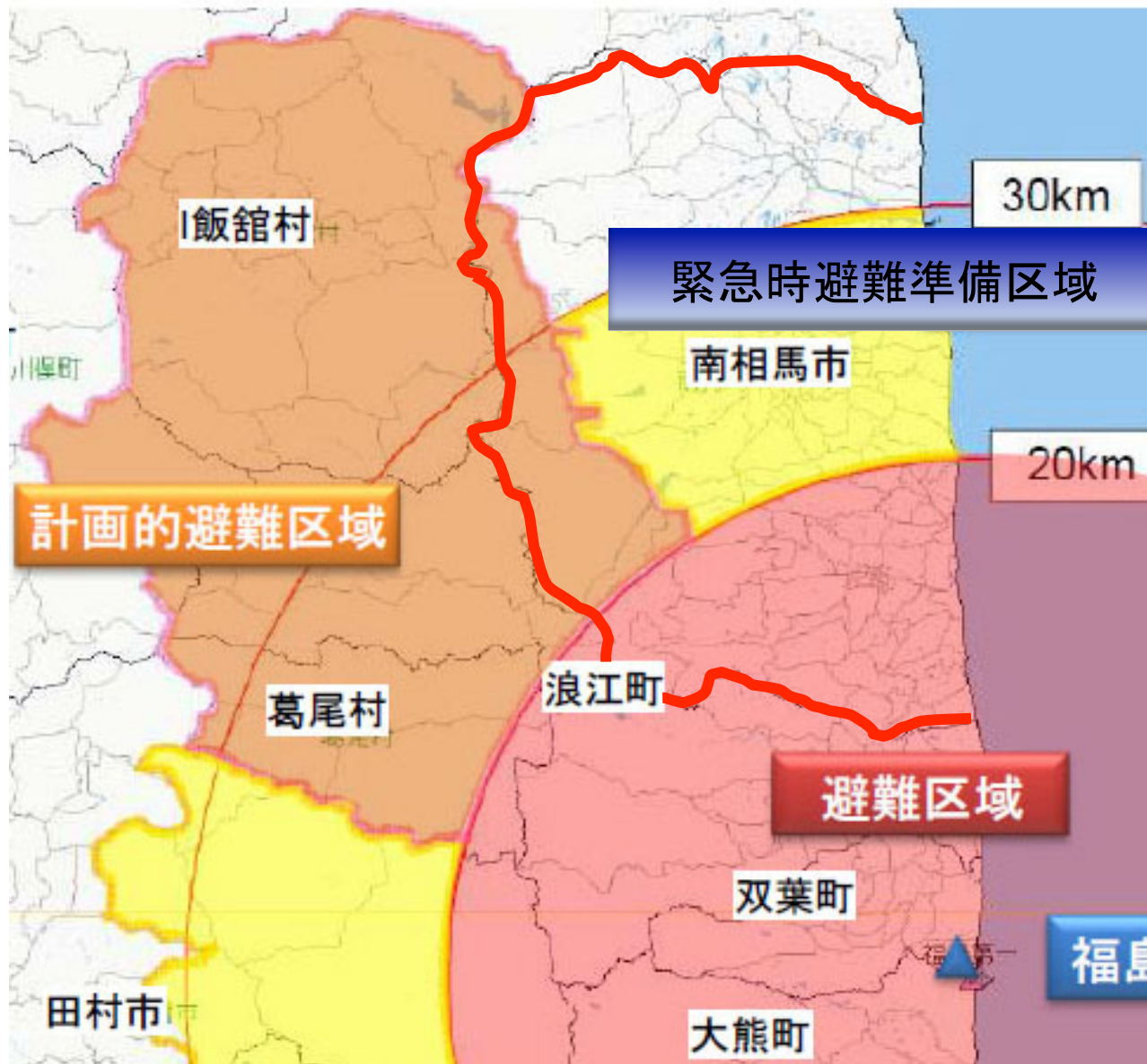
- Arrangement of evacuation site in advance
- Cooperative arrangement of evacuation process in advance
- In-site relief and care

高齢者福祉施設の入居者とスタッフの放射線被曝と避難のリスクの比較 (論文より引用)

		迅速な避難	約3カ月後の避難	20 ^{ミリシエルト} の被曝	100 ^{ミリシエルト} の被曝
避難による 損失余命 (人・日)	入居者	11000	不明	—	—
	スタッフ	観測なし	不明	—	—
被曝による 損失余命 (人・日)	入居者	0.01	1.7	100	530
	スタッフ	0.1	26	1000	5300
合計		11000	27	1100	5800



- 人、物資の流入が途絶え、緊急避難へ。



医療支援
ドクターヘリ
救急車両
DMAT
看護師
医師
医療スタッフ

物流

公的ボランティア

マスコミ

March 15 am 11:00

1Fより半径20~30km圏内の室内待避指示発令
(後の緊急時避難準備区域)

全職員の約2/3が避難 (274人→80~90人)



図1. 対象病院

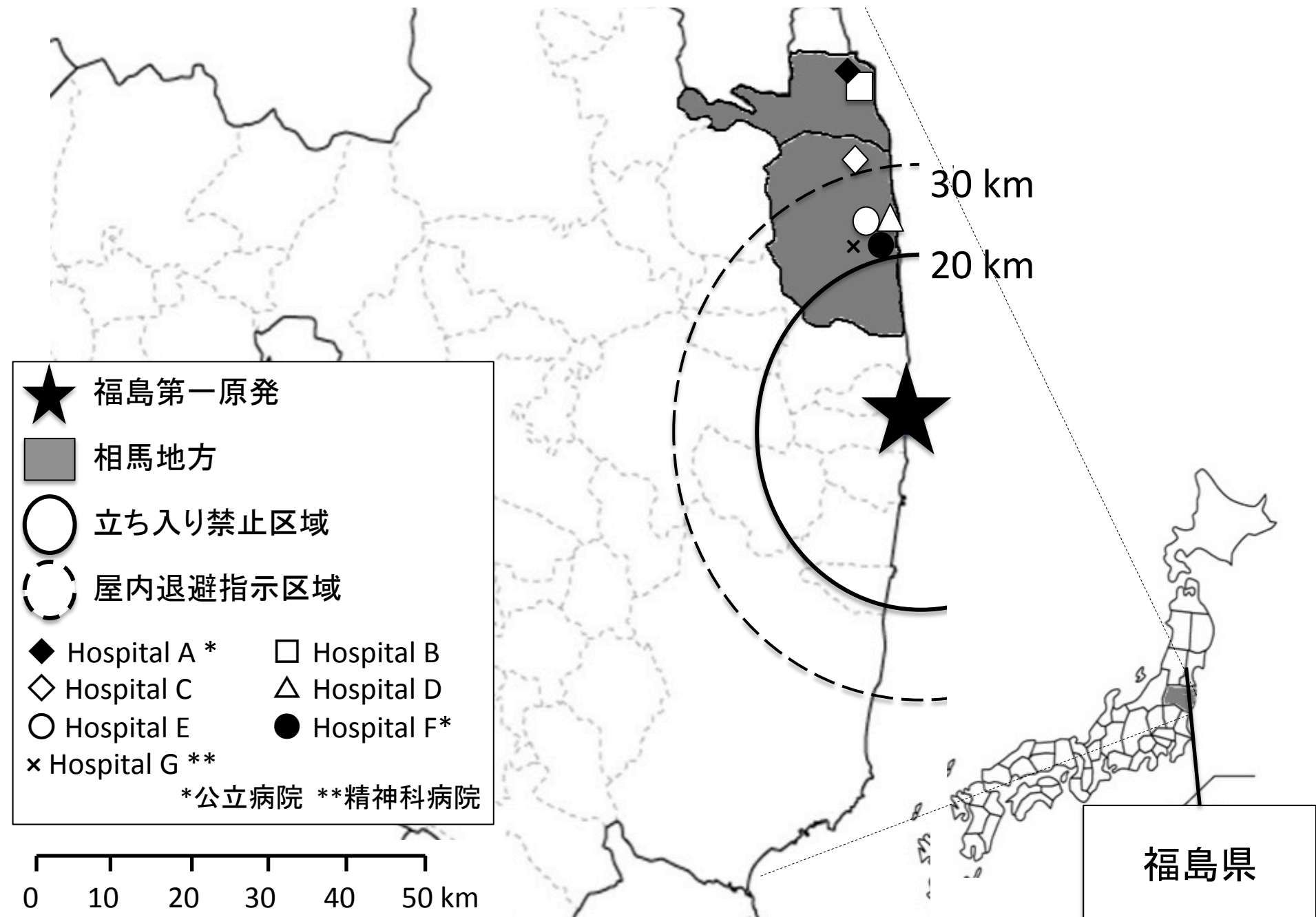


図2. 災害後18か月間の、相馬地方で勤務する病院スタッフ数の変化
(災害前と比較した%で表示)

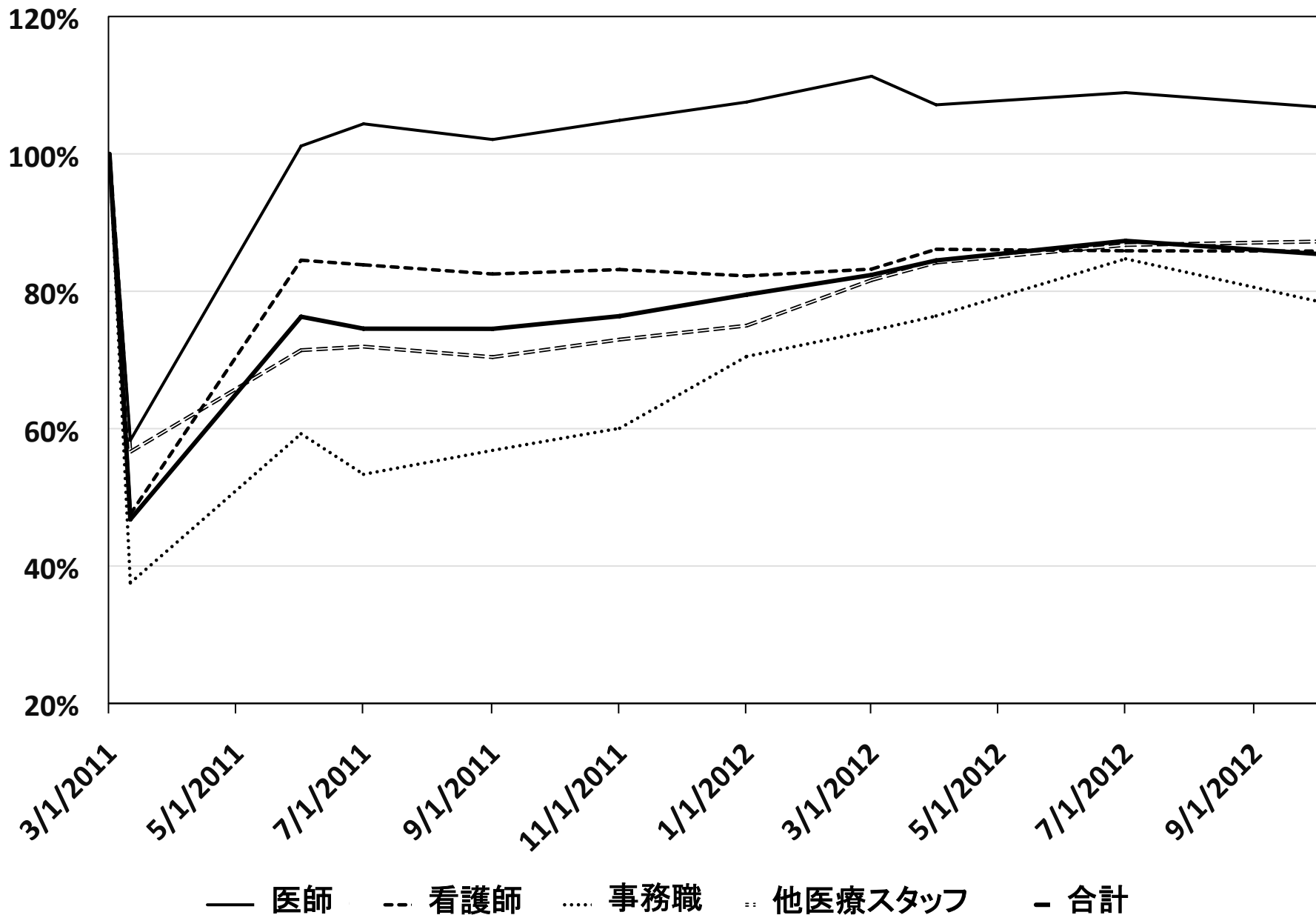
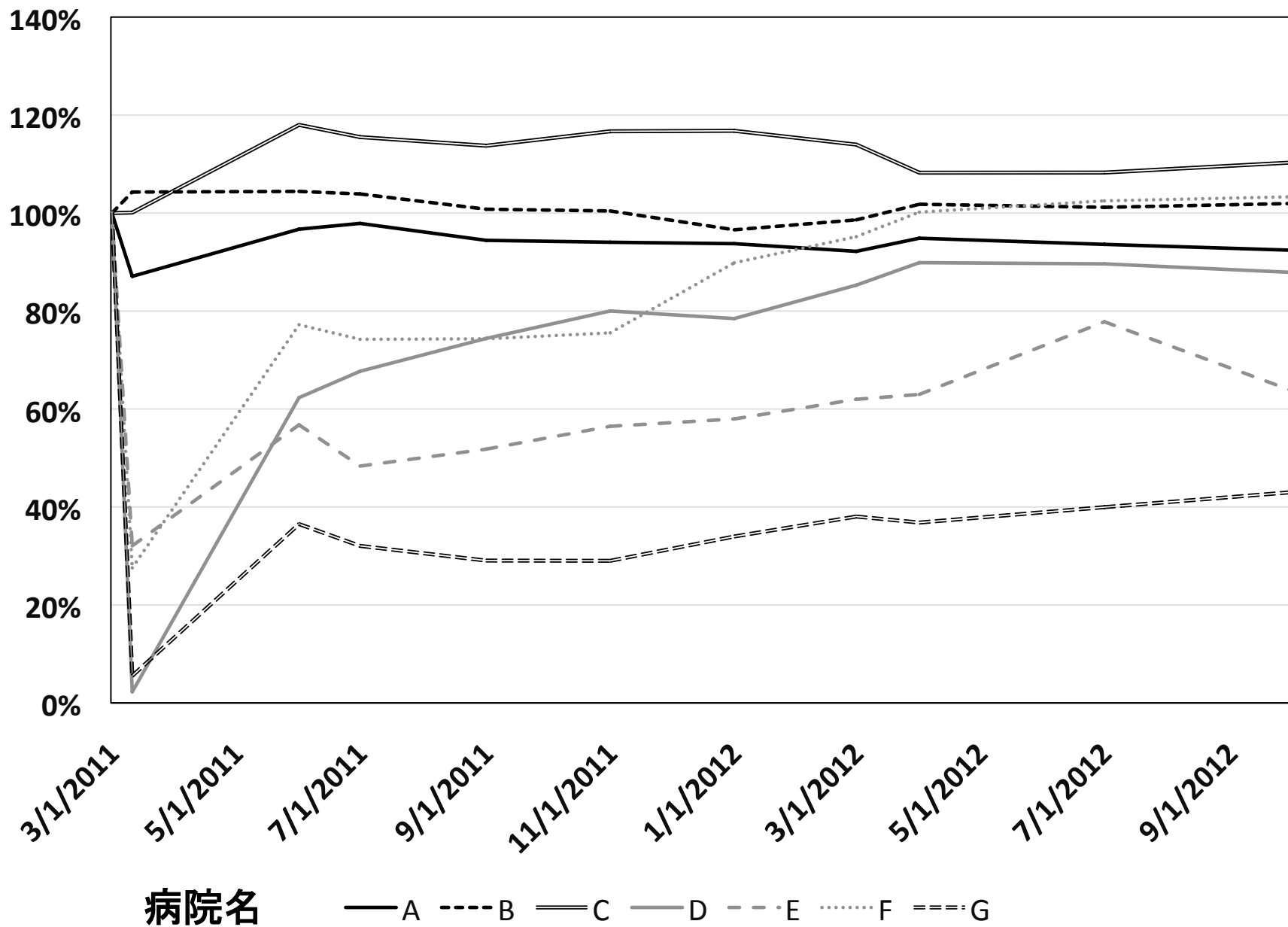


図 4. 災害後の病院ごとスタッフ数推移(災害前と比較した%で表示)





立入禁止

立入禁止

災害対策基本法により

南相馬市

これより先、20km圏内 警戒区域(2012.4.16解除)

今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
- 2. 低線量被ばくについて**
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

被曝線量別の対象者の地理的分布

線量 (mGy)

● < 5

● 5 - 100

● 100 - 200

線量 (mGy)

● 200 - 500

● 500 - 1000

● 1000 +

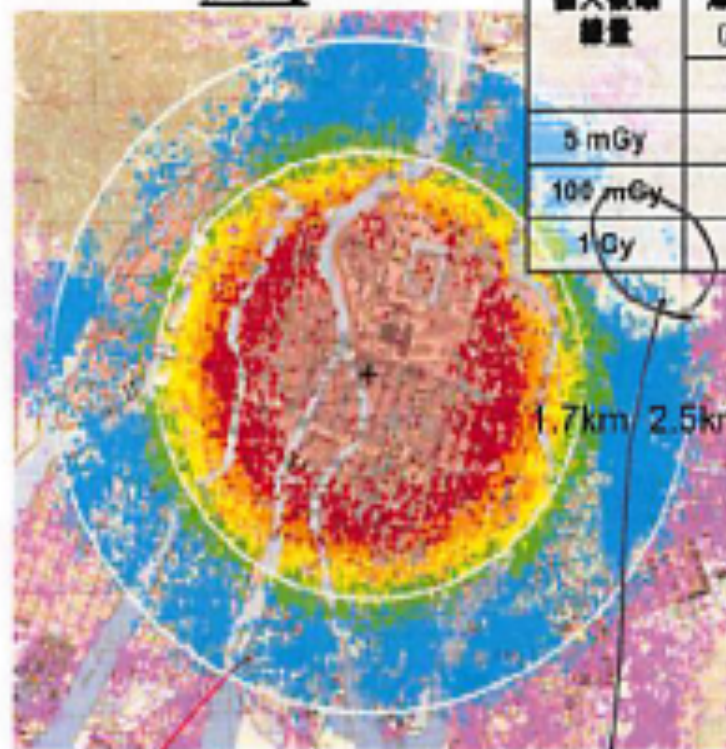
● 線量不明

✦ 爆心地

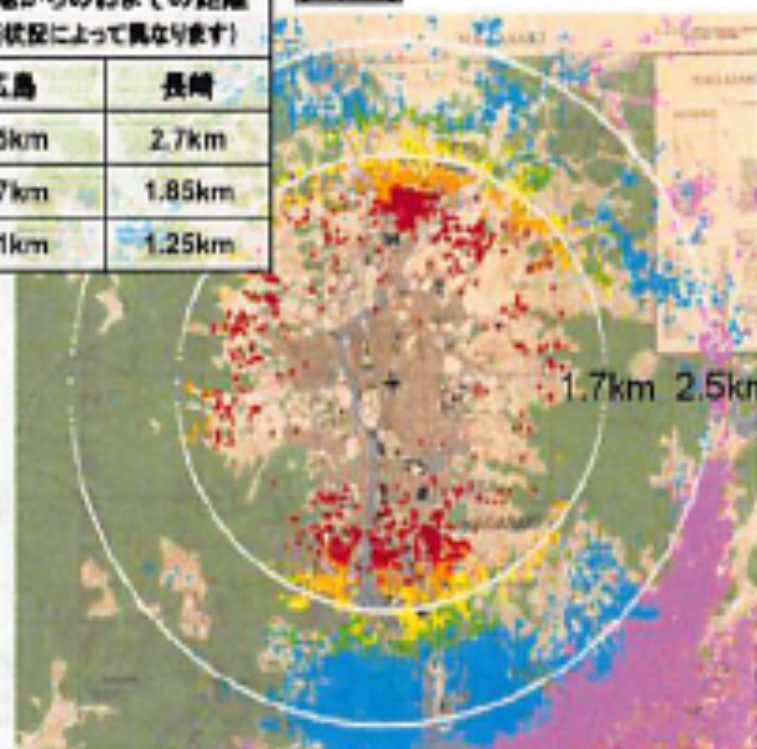
各点が被爆者個人を示します

広島

長崎



個人被曝線量	爆心地からのおよその距離 (風向状況によって異なります)	
	広島	長崎
5 mGy	2.5km	2.7km
100 mGy	1.7km	1.85km
1 Gy	1.1km	1.25km



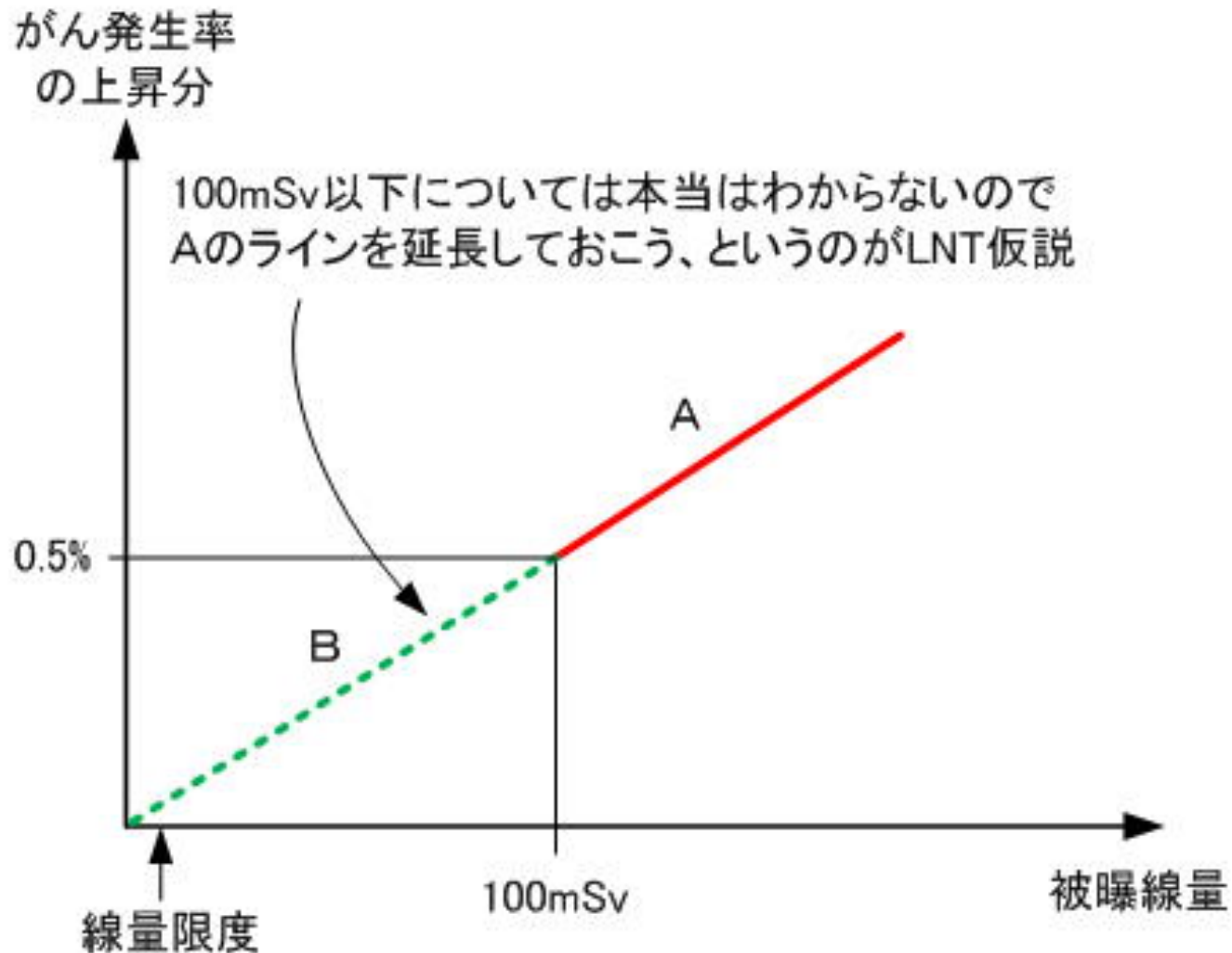
原爆被曝者における年齢別のがん罹患の相対リスク

		男性(ミリシーベルト)			女性(ミリシーベルト)		
		5～ 500	500～ 1000	1000～ 4000	5～ 500	500～ 1000	1000～ 4000
年齢	0-9歳	0.96	1.10	3.80	1.12	2.87	4.46
	10-19歳	1.14	1.48	2.07	1.01	1.61	2.91
	20-29歳	0.91	1.57	1.37	1.15	1.32	2.30
	30-39歳	1.00	1.14	1.31	1.14	1.21	1.84
	40-49歳	0.99	1.21	1.20	1.05	1.35	1.56
	50歳以上	1.08	1.17	1.33	1.18	1.68	2.03

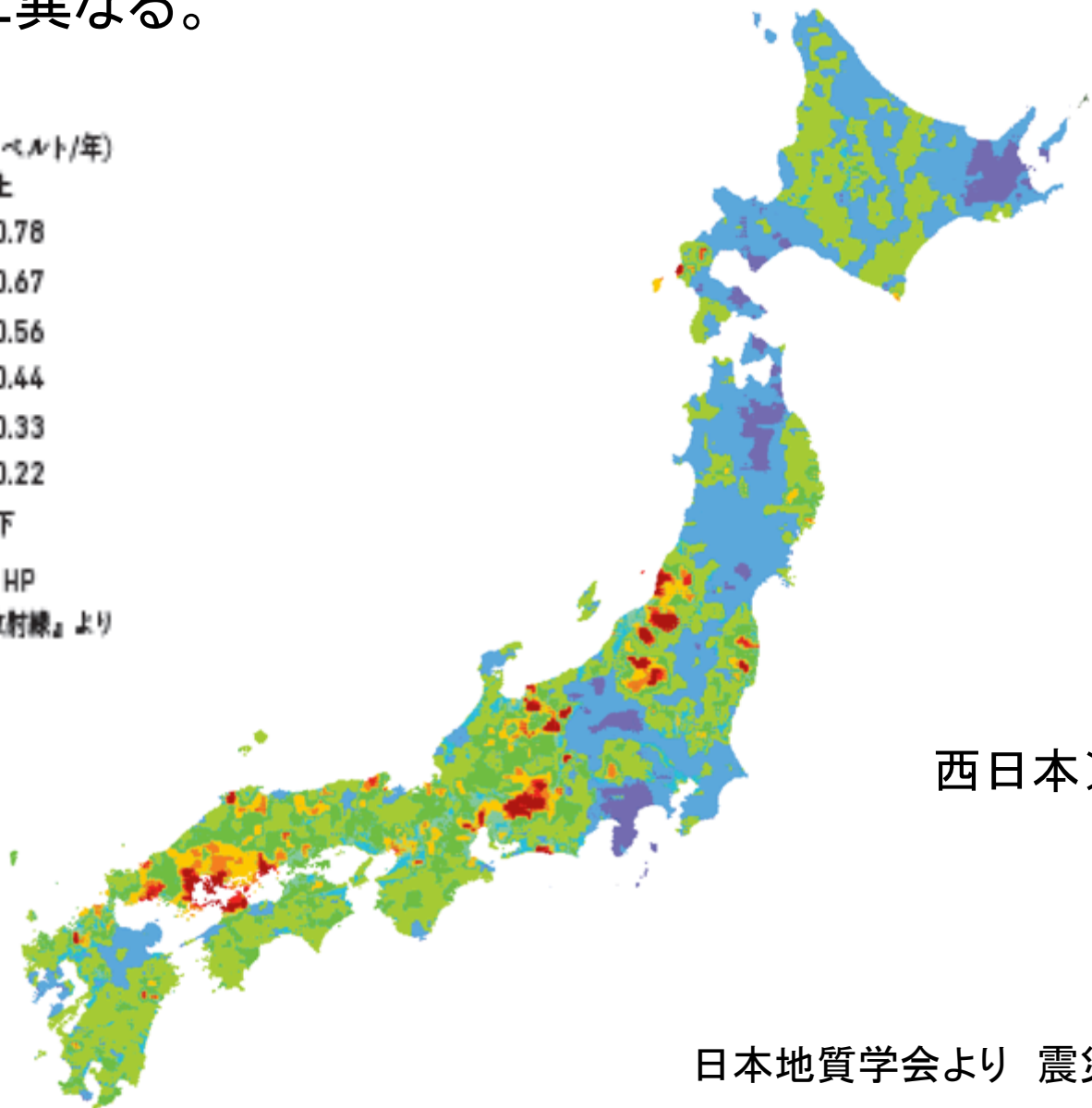
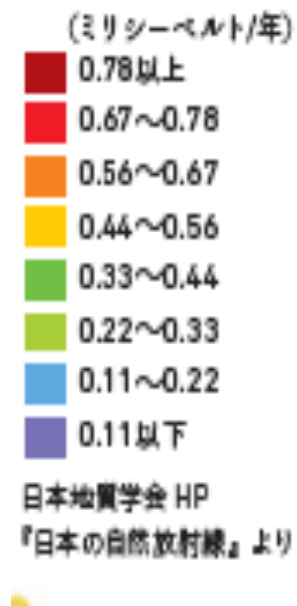
LNT モデル

(どれだけ低線量でも影響がある?)

どれだけ少なくても危ない?



日本国内各地区での放射線量の差 県ごとに異なる。

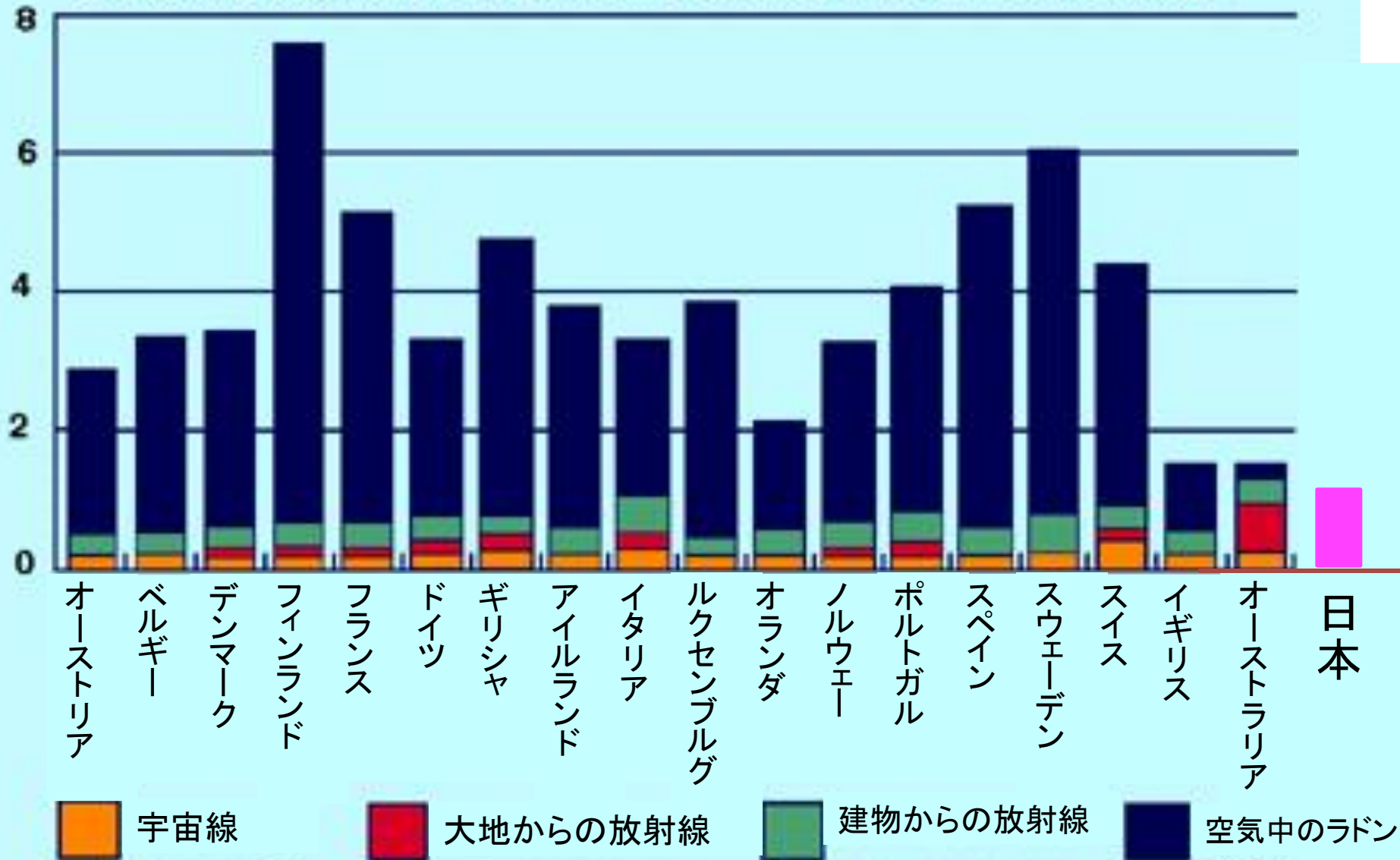


西日本 > 東日本

日本地質学会より 震災前データ

世界各地の自然放射線による年間被ばく量

マイクロシーベルト



- ・花崗岩は自然放射線量が高いため、石造りの建物や石畳は放射線量が高い
- ・欧州の地質の一部はラドンを多く含む

- 低線量被ばくの影響は分からない。は、どうなるか「分からない。」ではない。
- 見えるか見えないか分からないぐらいに小さい。
- 環境中の放射線量は場所により大きく異なる。
- 100mSv以下でも影響があったとする論文もある。

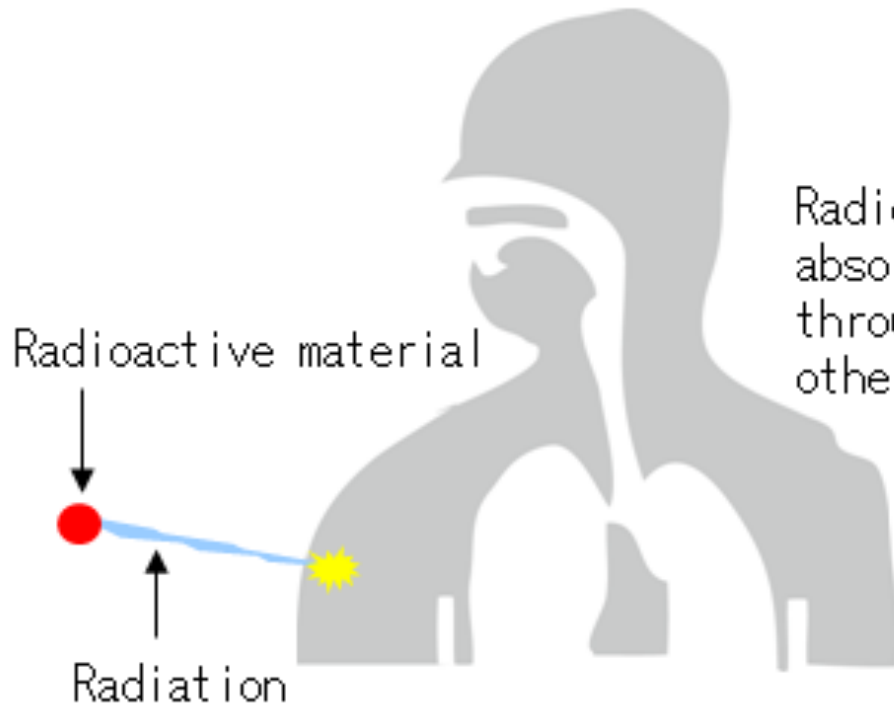
今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
- 3. 住民の内部被ばく量について**
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

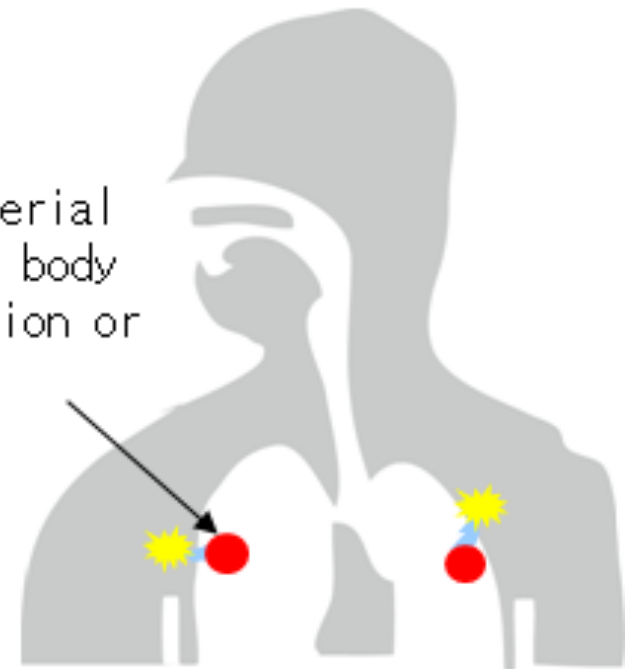
外部被ばくと内部被ばくの違いについて

External exposure



Internal exposure

Radioactive material absorbed by the body through inhalation or other means



内部被ばく検査



2011.8～



2011.7～

ホールボディー
カウンターによる体内
放射能測定



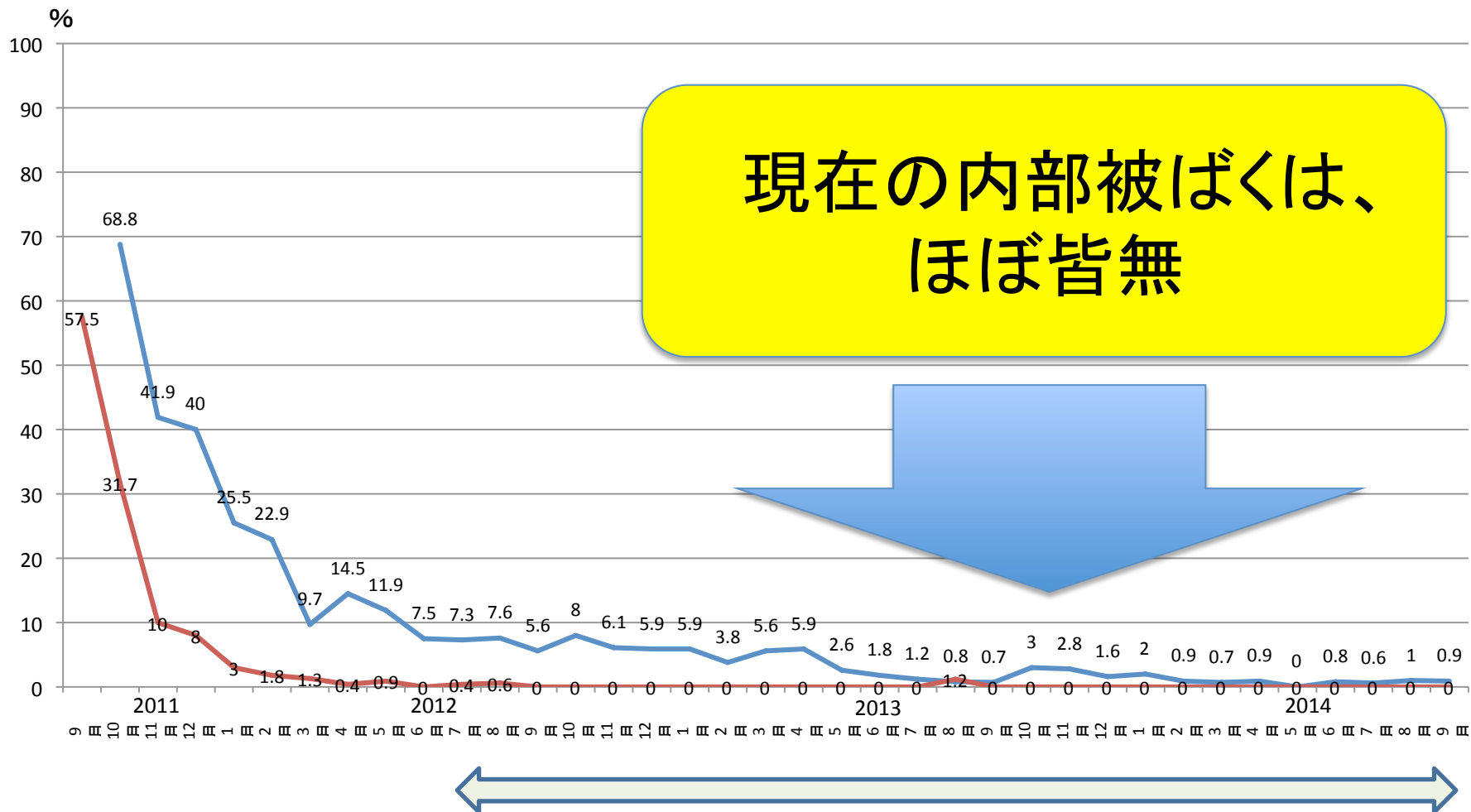
継続的な内部被ばく検査



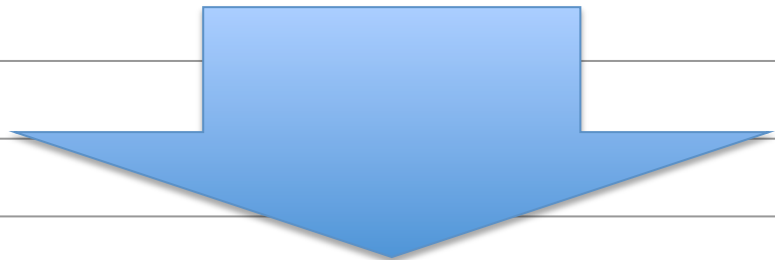
今後の継続的な内部汚染のモニタリングのため、内部被ばく検査の学校検診への導入、継続検査がおこなわれている。

- Hayano et al. Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci. 2014; **90**(6):211-3.
- Tsubokura et al. *Health physics* 2015; **108**(1): 39-43.

月別セシウムの検出率の推移



現在の内部被ばくは、
ほぼ皆無



※検出率は、セシウム134またはセシウム137のいずれか
または両方が検出限界以上の場合を「検出」と定義しています。
※大人(高校生以上)、小児(中学生以下)と定義しています。

渡辺病院(渡辺クリニック)での測定データ含む

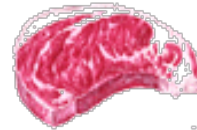
食べ物に含まれている天然の放射性物質 ^{40}K (カリウム)



牛乳 10ベクレル
(コップ1杯200ml)



ビール 5ベクレル
(500ml缶1本)



ステーキ 20ベクレル
(200g1枚)



魚 10ベクレル
(100g1切れ)



バナナ 13ベクレル
(1本120g)



食パン 4.2ベクレル
(6枚スライス2枚140g)



ポテトチップ 36ベクレル
(1袋90g)



干しいたけ 14ベクレル
(5枚20g)



こんぶ 20ベクレル
(だし用10g)



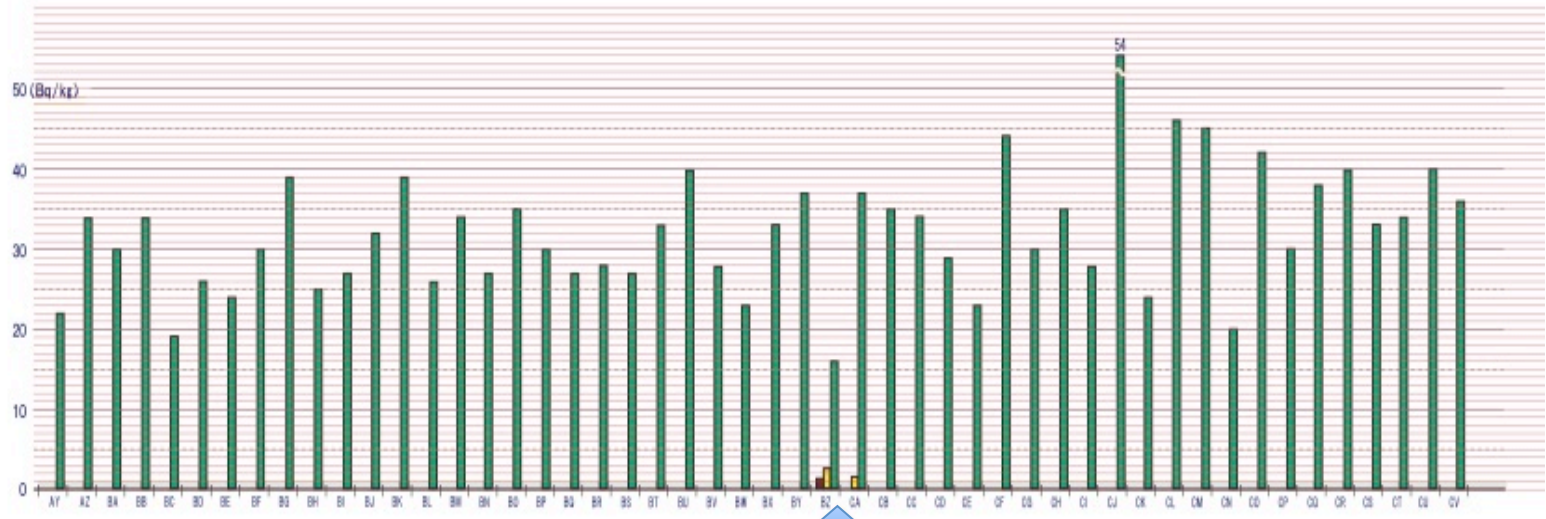
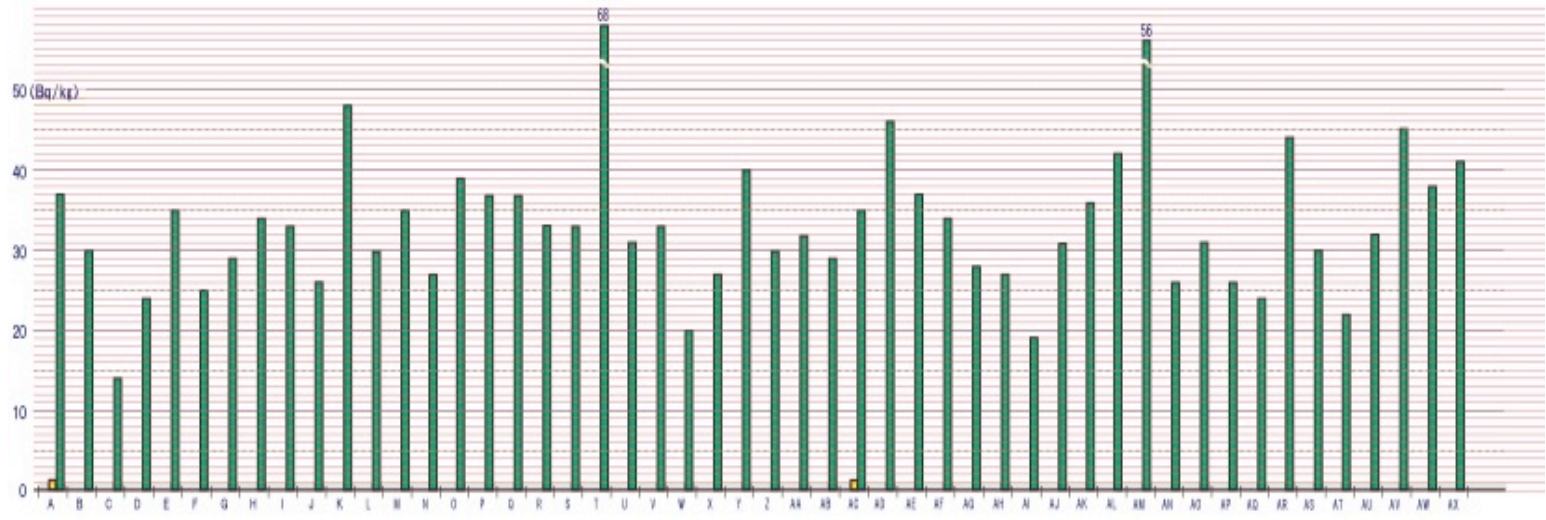
ごはん 6ベクレル
(茶碗1杯200g)



さつまいも 13.8ベクレル
(1本100g)



陰膳方式放射能調査結果(2014年3月7日 発表)



コープ福島の調査から

内部被ばくにおけるハイリスク群の同定

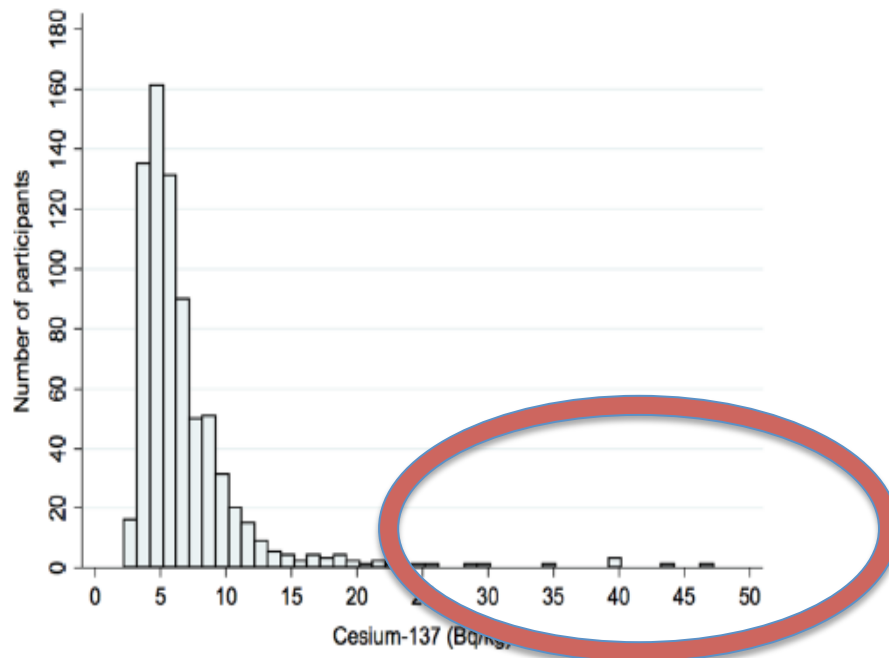


Figure 2. Distribution of Cs-137 (Bq/kg) in the analyzed population (less than 50Bq/kg).

doi:10.1371/journal.pone.0100302.g002

南相馬市立総合病院とひらた中央病院を受診した約30000人のうち、Cs137が50Bq/kgを越えたのは9名 (0.03%)



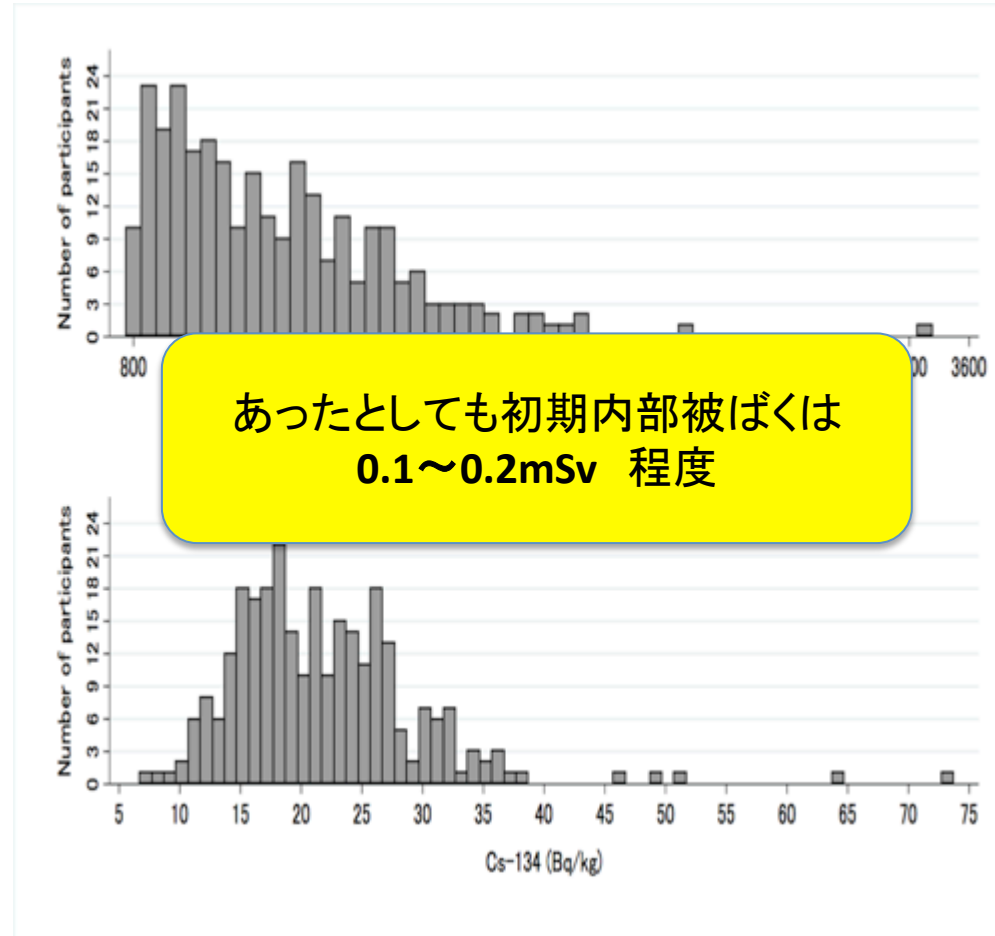
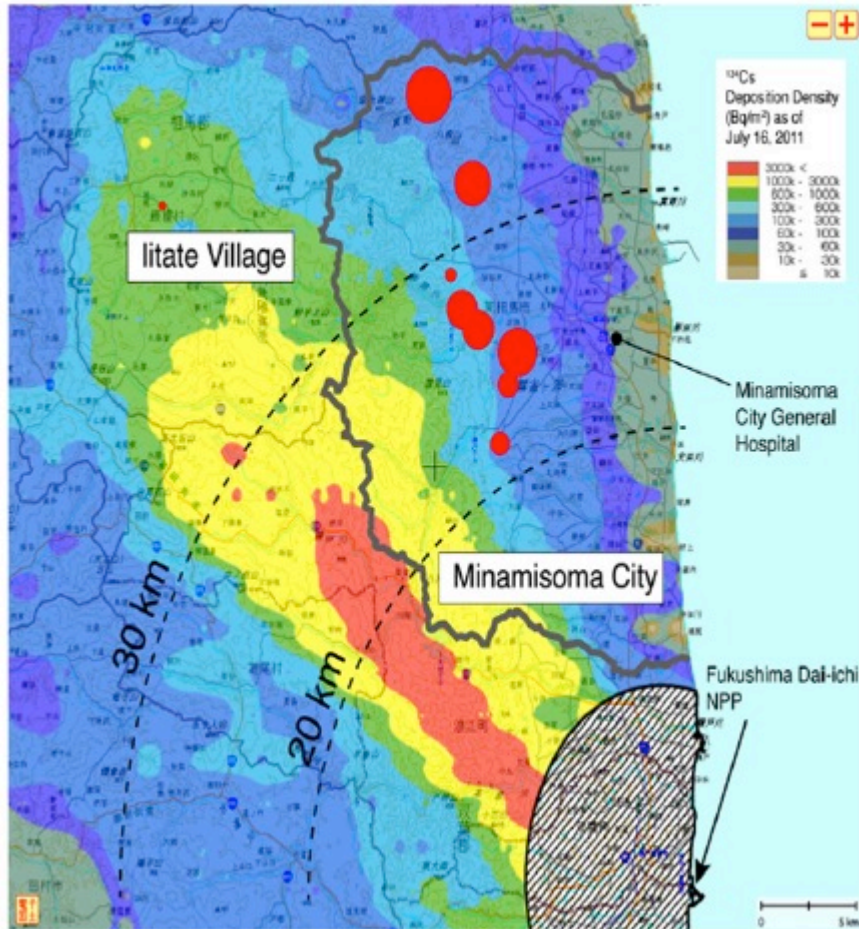


100 Bq/kgを毎日2kg
1年間食べて初めて、1mSv



南相馬市における事故初期の内部被ばくについて

南相馬市立総合病院 2011年7月 WBC検査結果 N=566



南相馬市の一番初期の内部被ばくデータ
預託実効線量は1mSvを切る

Tsubokura et al. JAMA 2012; **308**(7): 669-70.

Hayano, Nomura, Tsubokura et al. J Rad Res 2014; **34**(4): 787-99.

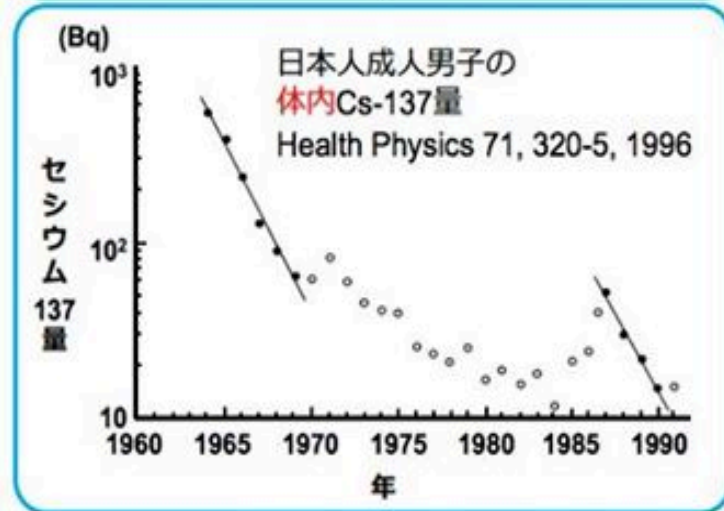
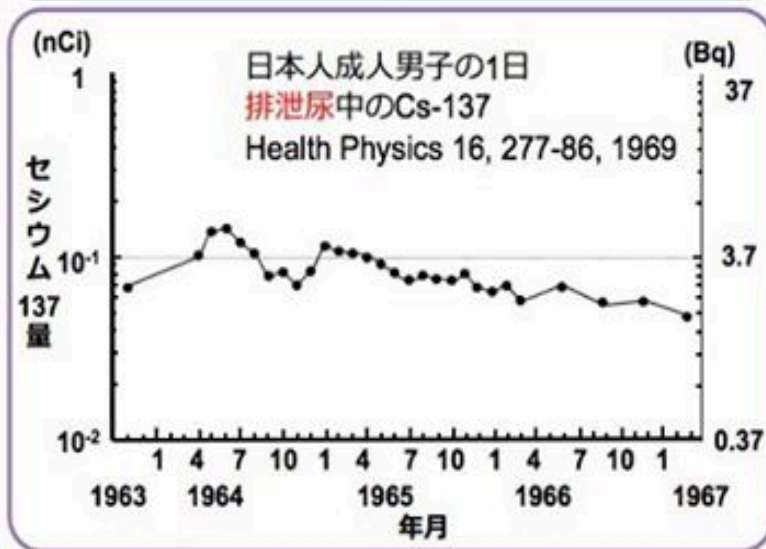
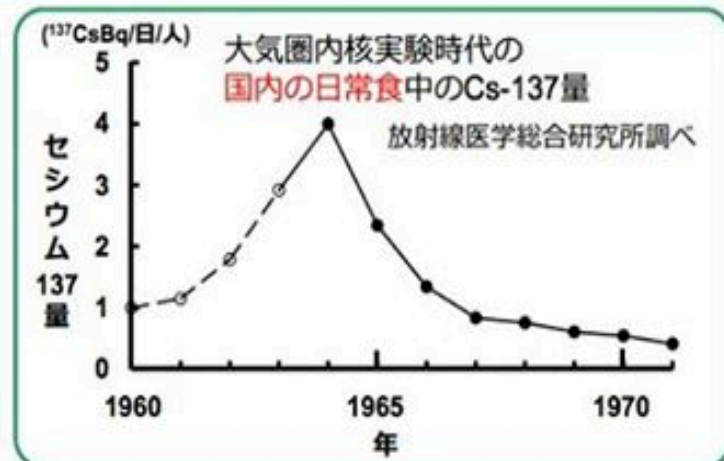
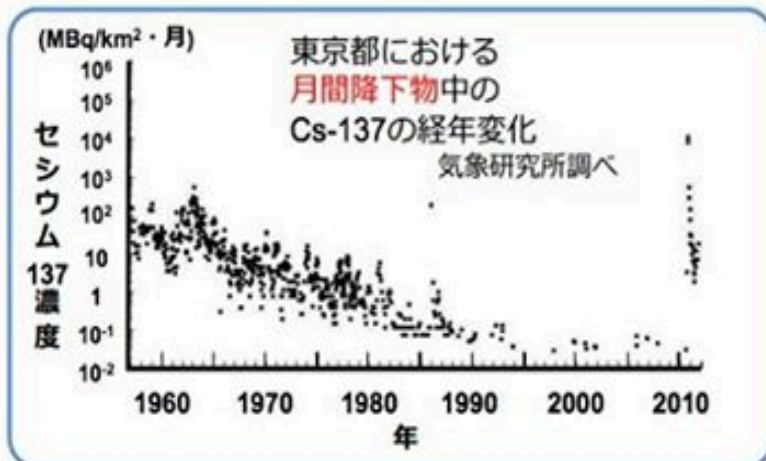
フォールアウトの影響

体内放射能：体重60kg

K-40：4000 Bq (ベクレル)

C-14：2500 Bq

Rb-87：520 Bq



MBq：メガベクレル nCi：ナノキュリー

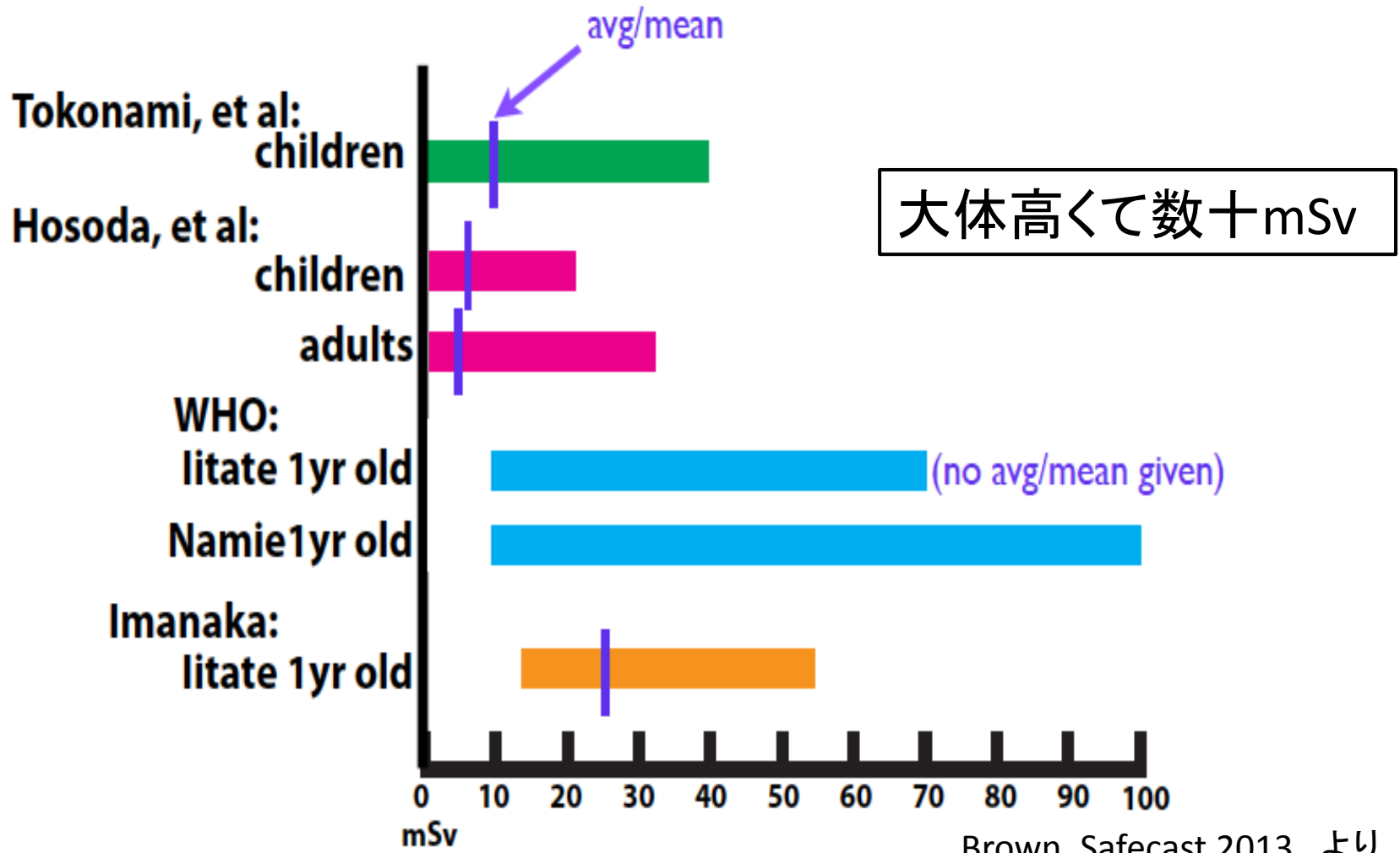
- 現在の内部被ばくは、ほぼ完全に無視出来るレベル。
- 初期内部被ばくは1960年代と同レベル。
- たまに汚染食品はあるが、1mSvも食べられない。

今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

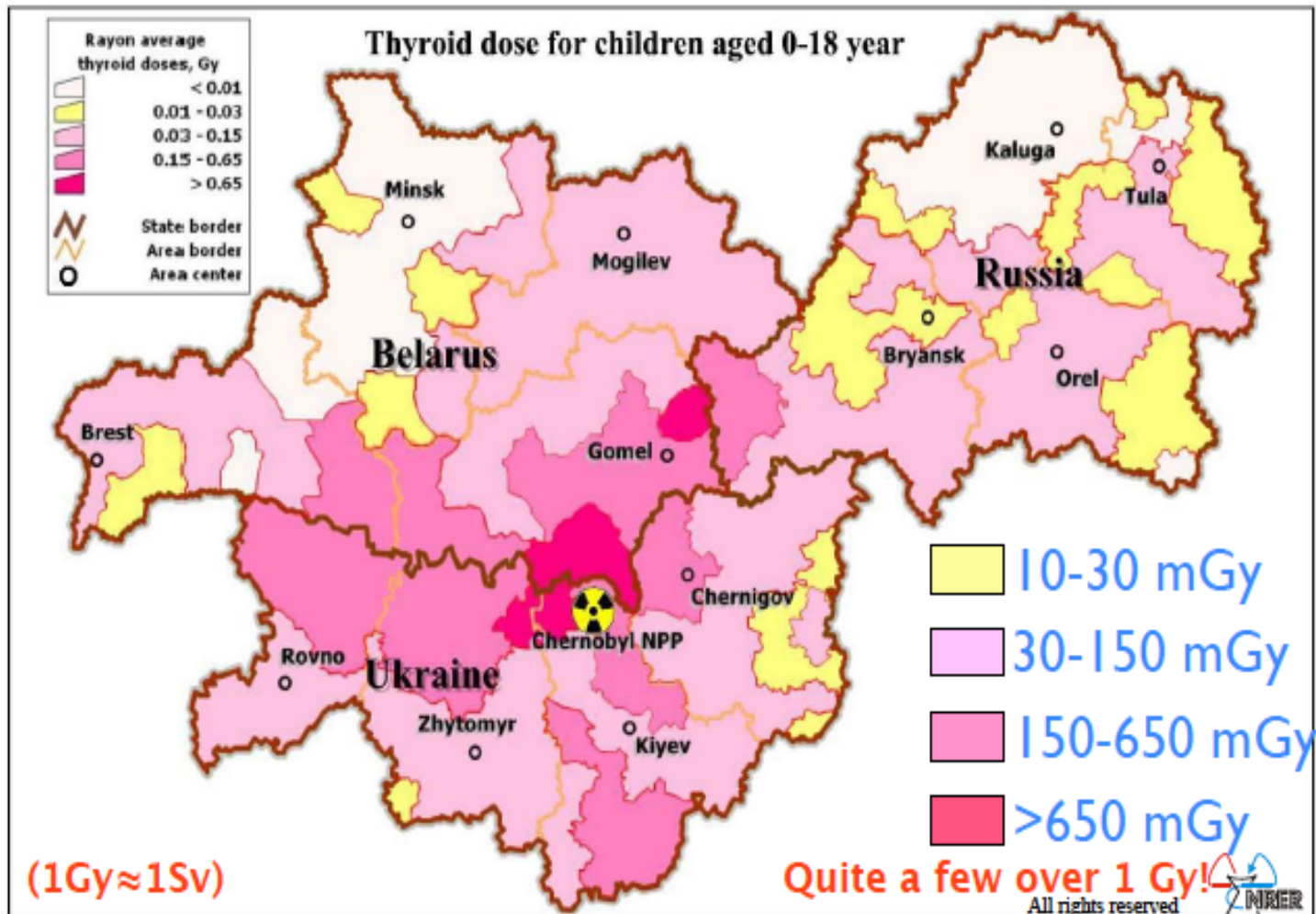
1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. **ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて**
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

いくつかの福島原発事故での甲状腺線量評価



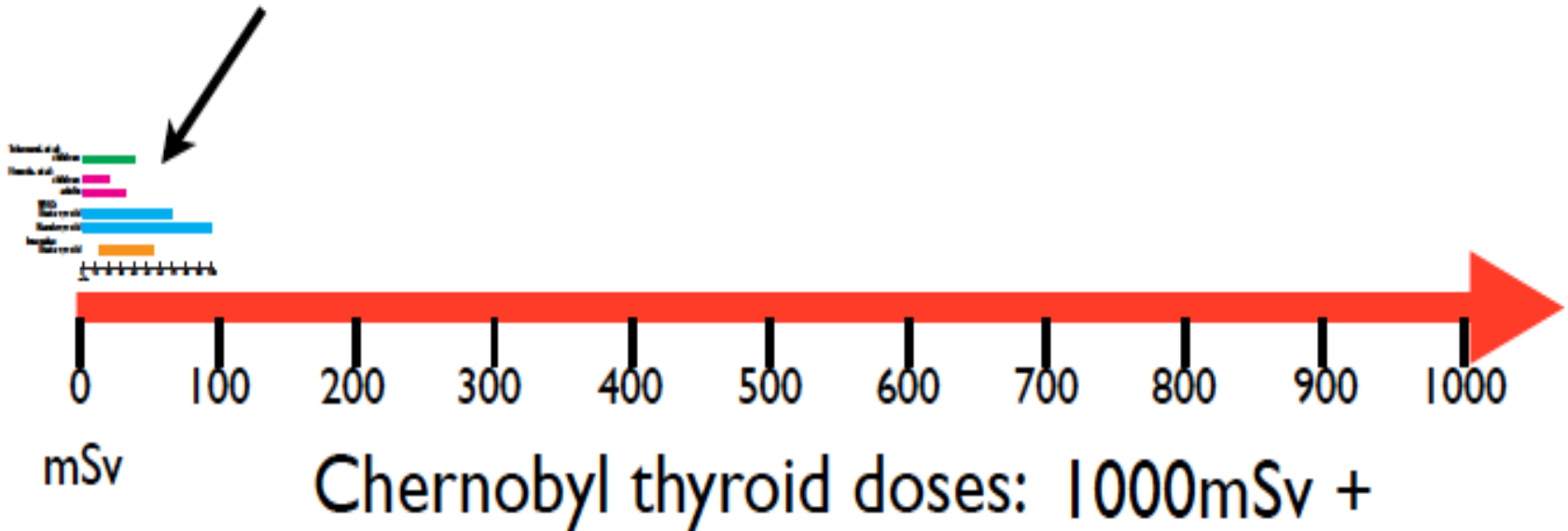
Rayon-average thyroid doses of children and adolescents (as of time of the Chernobyl accident) in Belarus, Russia and Ukraine

(Ivanov, Kenigsberg, Likhtarev, Balonov, 2006)



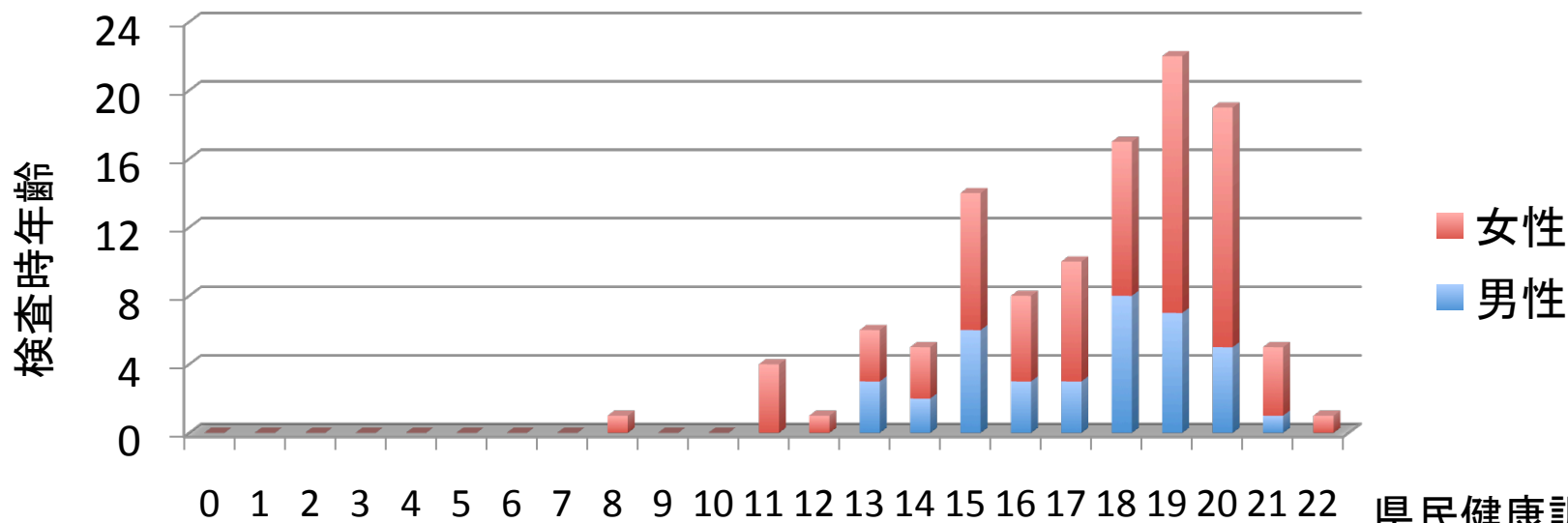
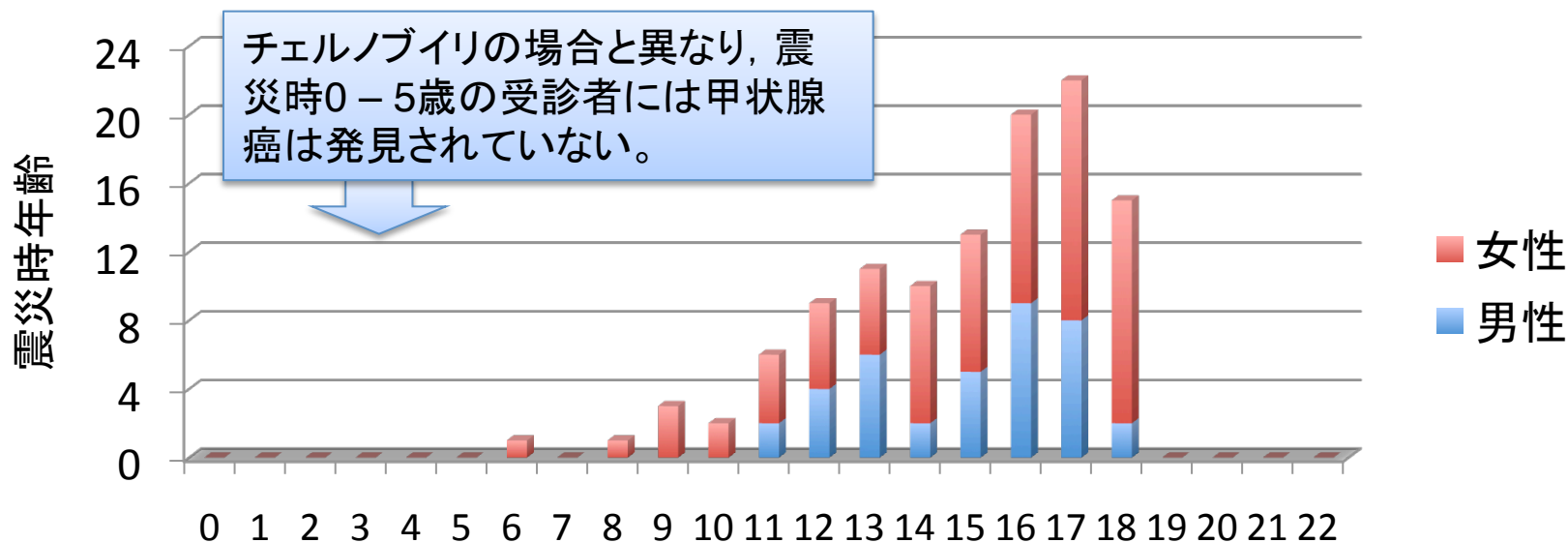
今回とチェルノブイリでの甲状腺被ばく量の差

Fukushima thyroid dose estimates



(But some cancers expected at low dose range)

細胞診で悪性ないし悪性疑いであった112例の年齢、性分布 (平成27年6月30日現在)



放射線による甲状腺がん？

放射線が原因であると言うには、

- 年齢
- 被ばく量
- がんの発生するタイミング
- (遺伝子変異)

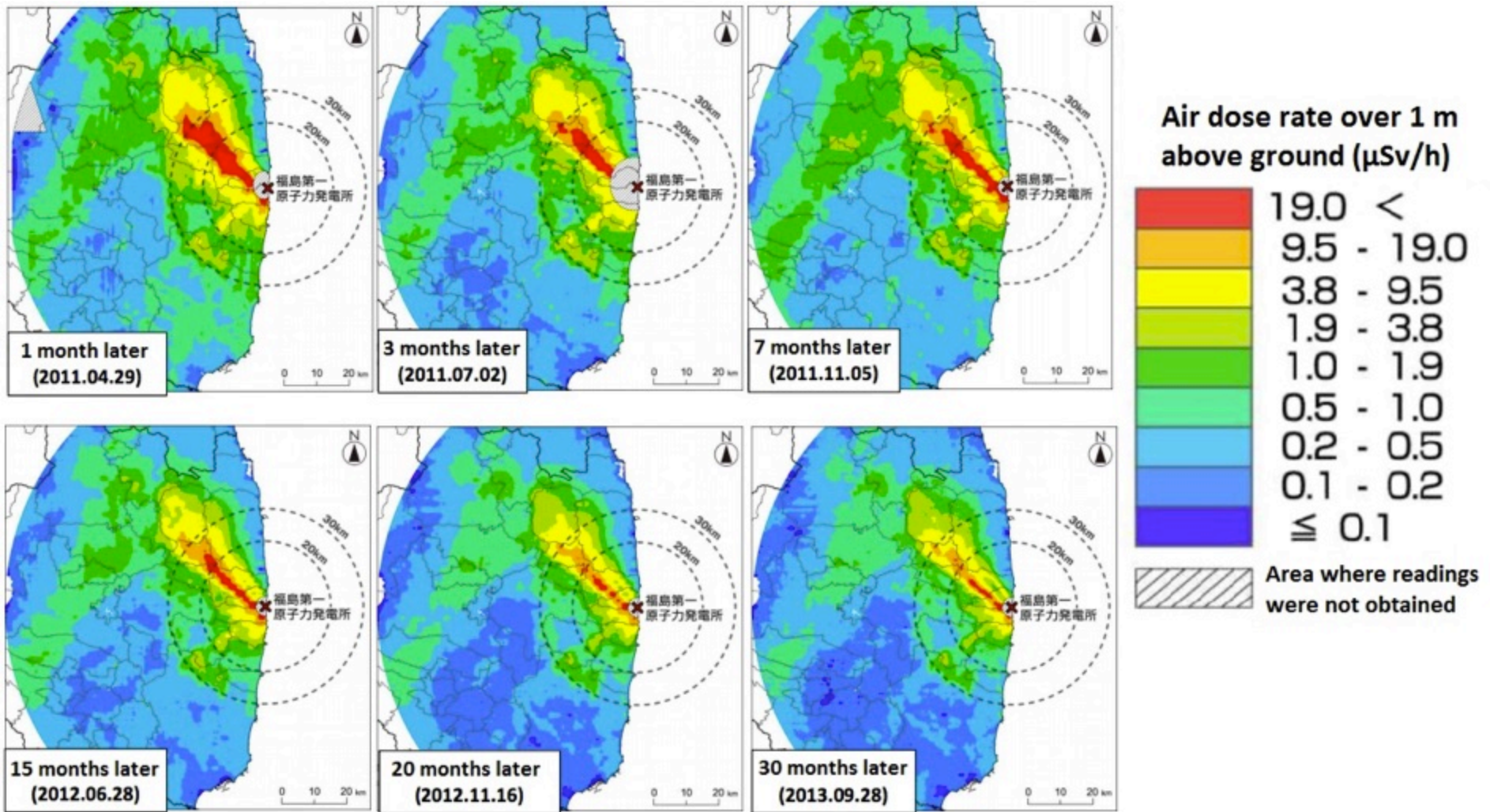
全部あわない。

今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. **住民の外部被ばく量について**
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

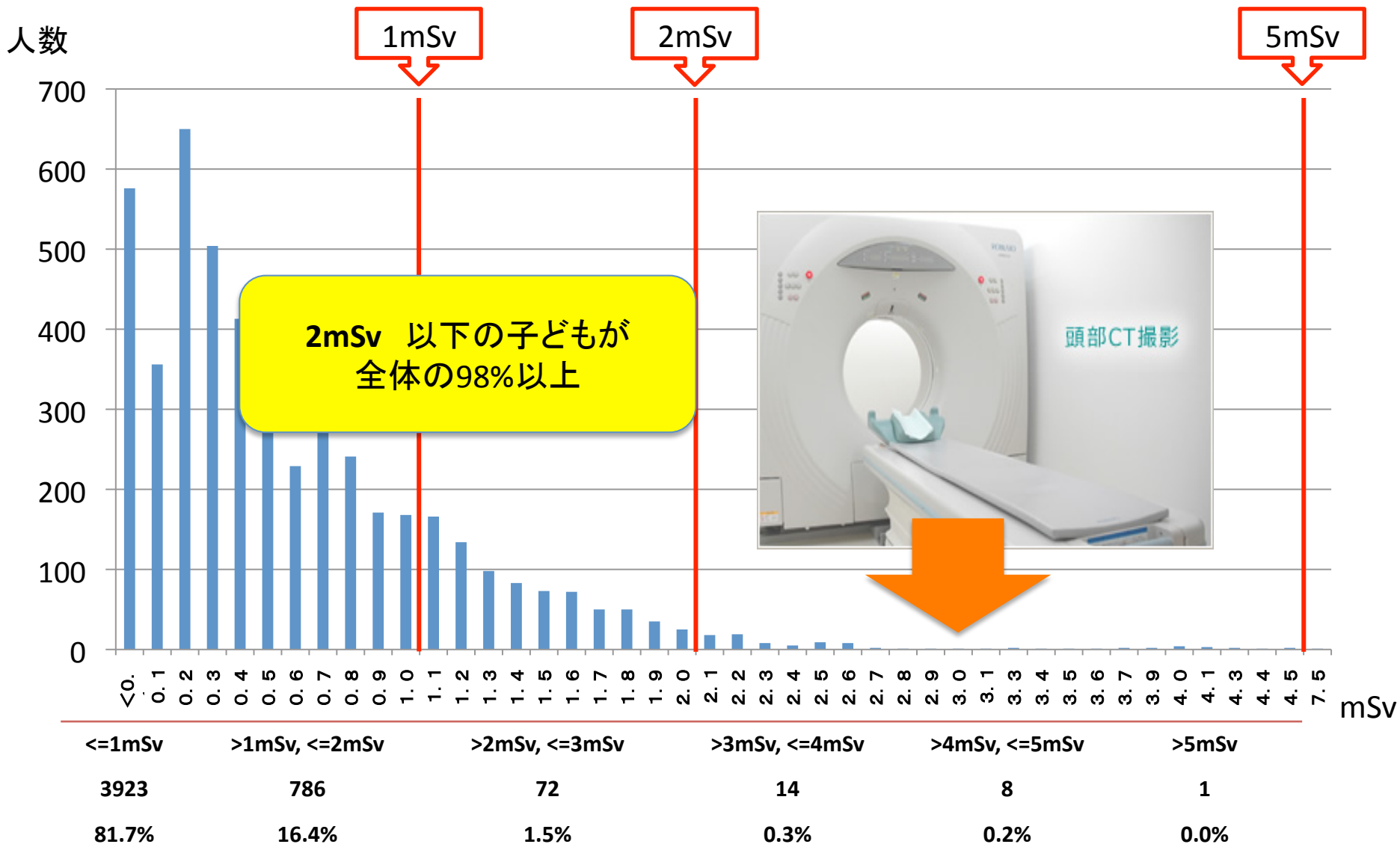
空間線量は徐々に下がっている。



(Source: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)

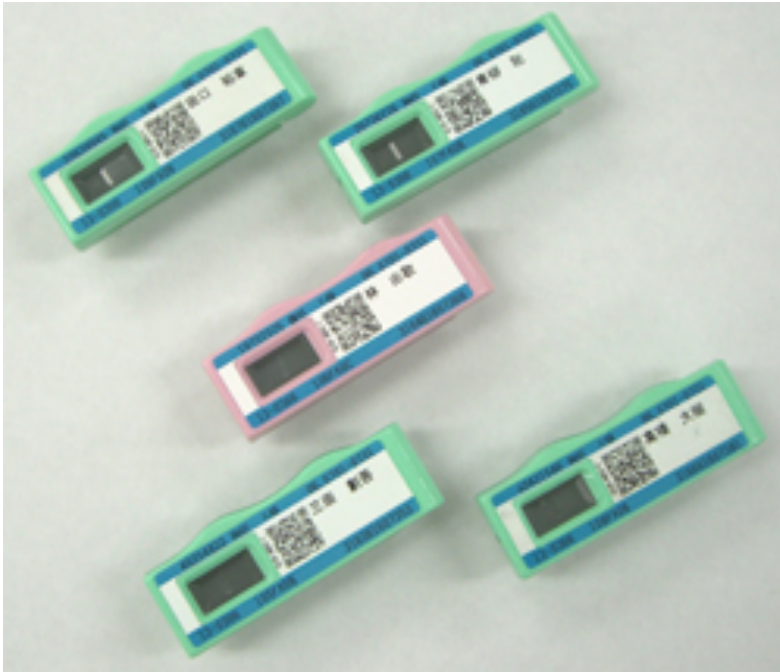
県民健康調査による事故初期外部被ばく線量評価(南相馬市)

15歳以下 n=4804



外部被ばく測定

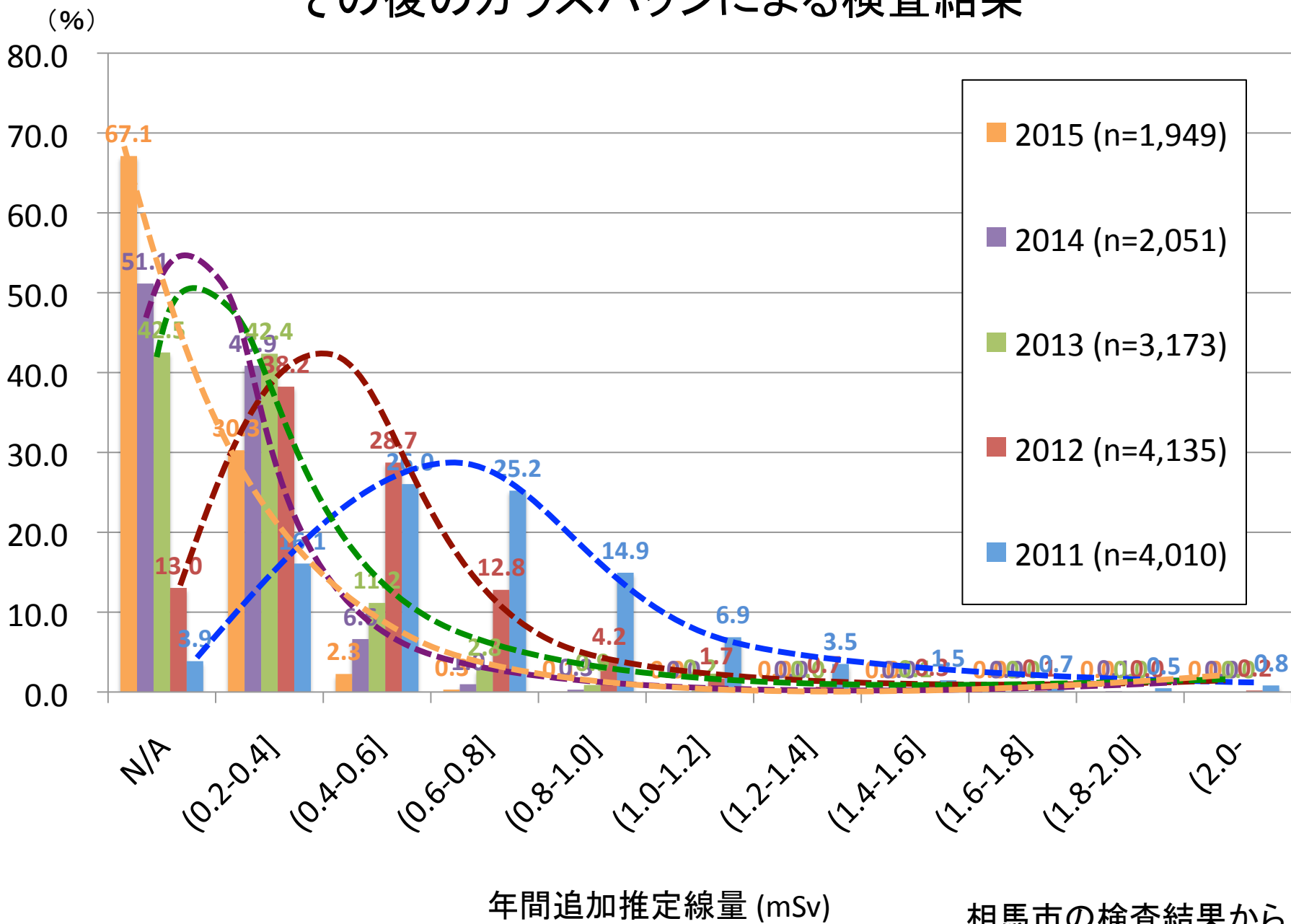
(積算線量計、ガラスバッジ、D-shuttle)



数ヶ月着用を続けてもらうことで、
その時期の外部被ばくを測定する

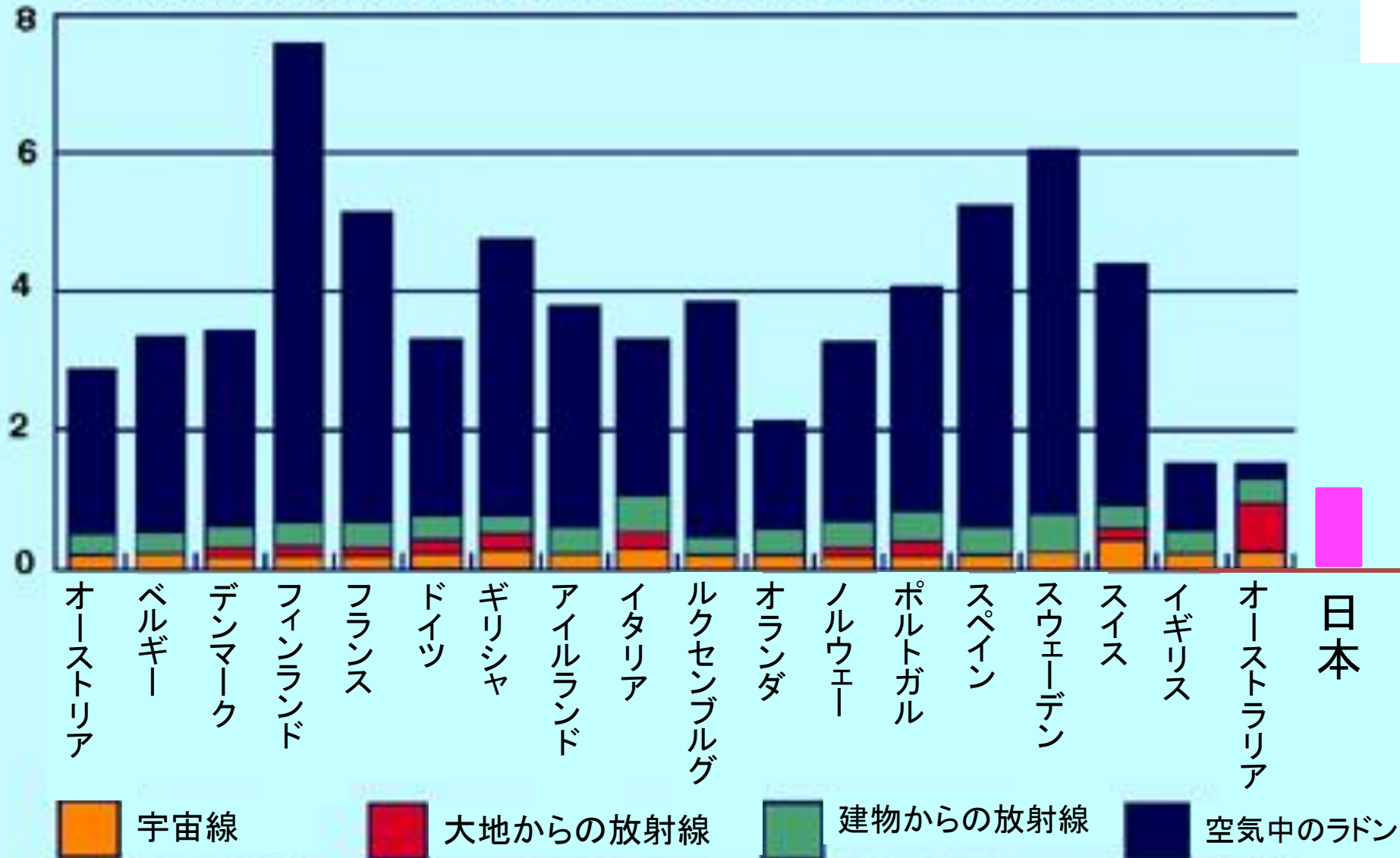
時間あたりの外部被ばくを測定する

その後のガラスバッジによる検査結果



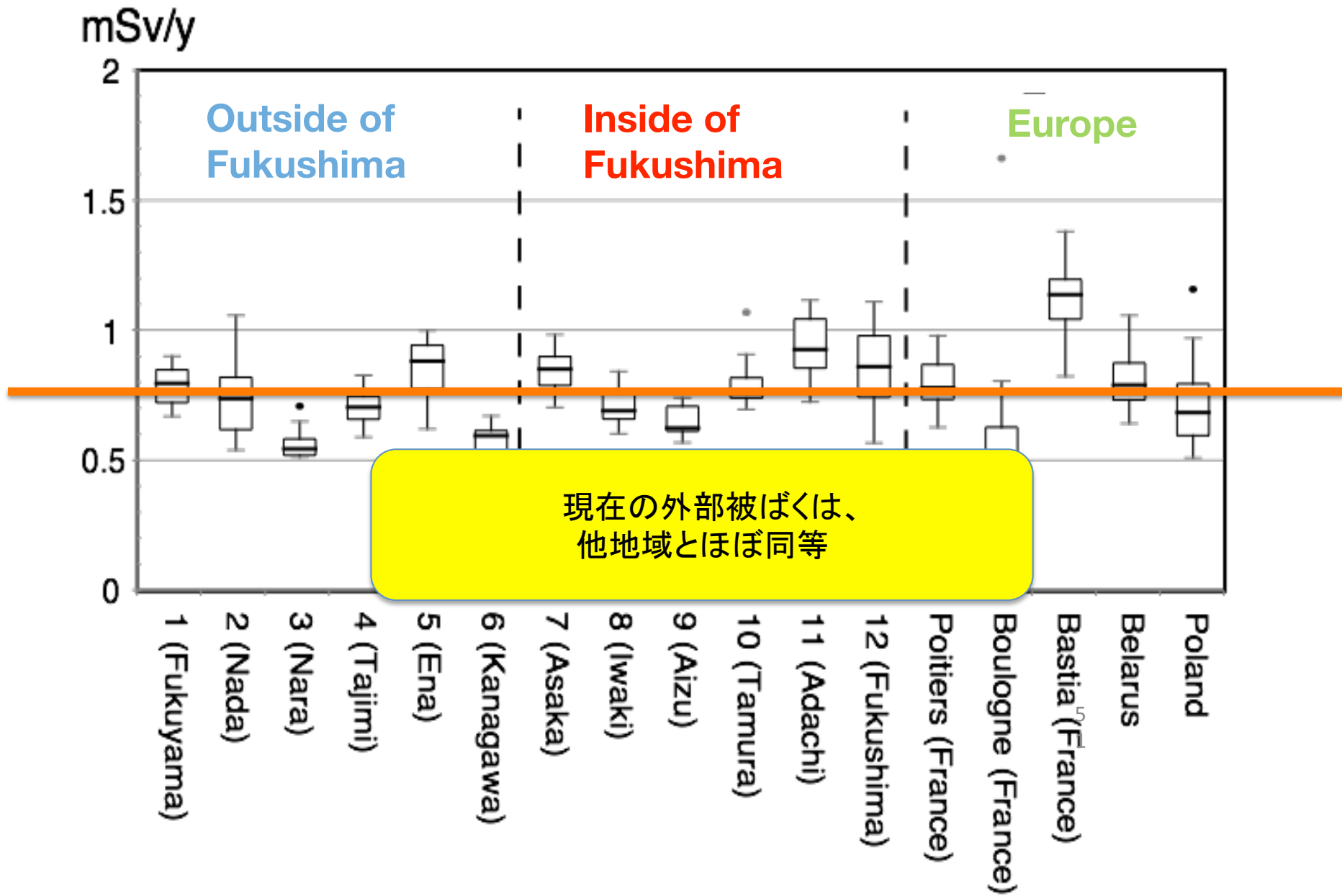
世界各地の自然放射線による年間被ばく量

ミリシーベルト



- ・花崗岩は自然放射線量が高いため、石造りの建物や石畳は放射線量が高い
- ・欧州の地質の一部はラドンを多く含む

年間個人線量の比較（自然放射能を含む）



- 初期の外部被ばくが被ばくのほとんどを占める。
- が、ヨーロッパに一年住むのとレベルは同等。
- 現在の外部被ばくは他国と変わらない。

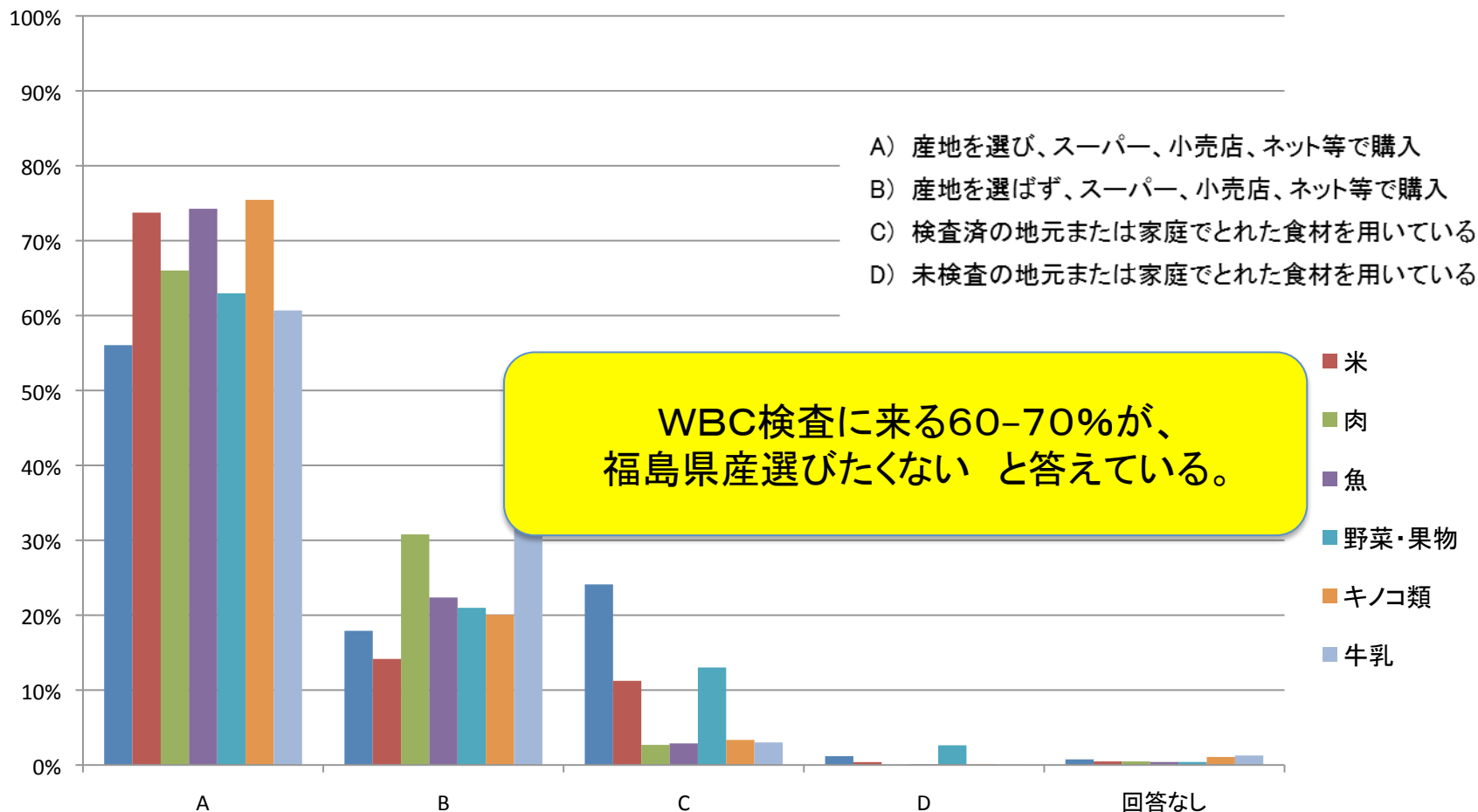
今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

食品の忌避傾向は強い

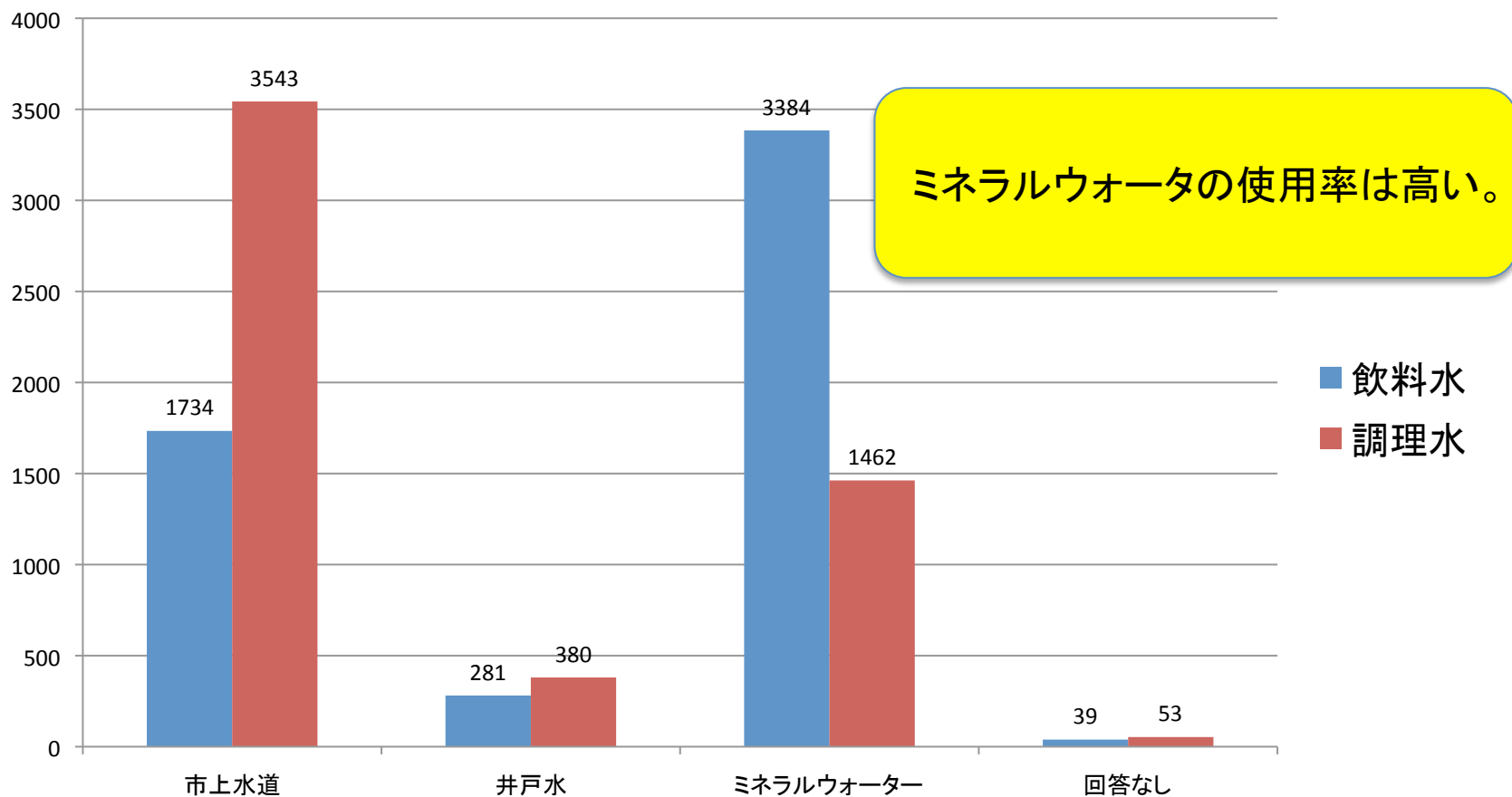
食べ物の調達方法



食生活のパターンによって被ばく量は変わらない。

水への不安度も高い

自宅の飲料 & 調理水の種類

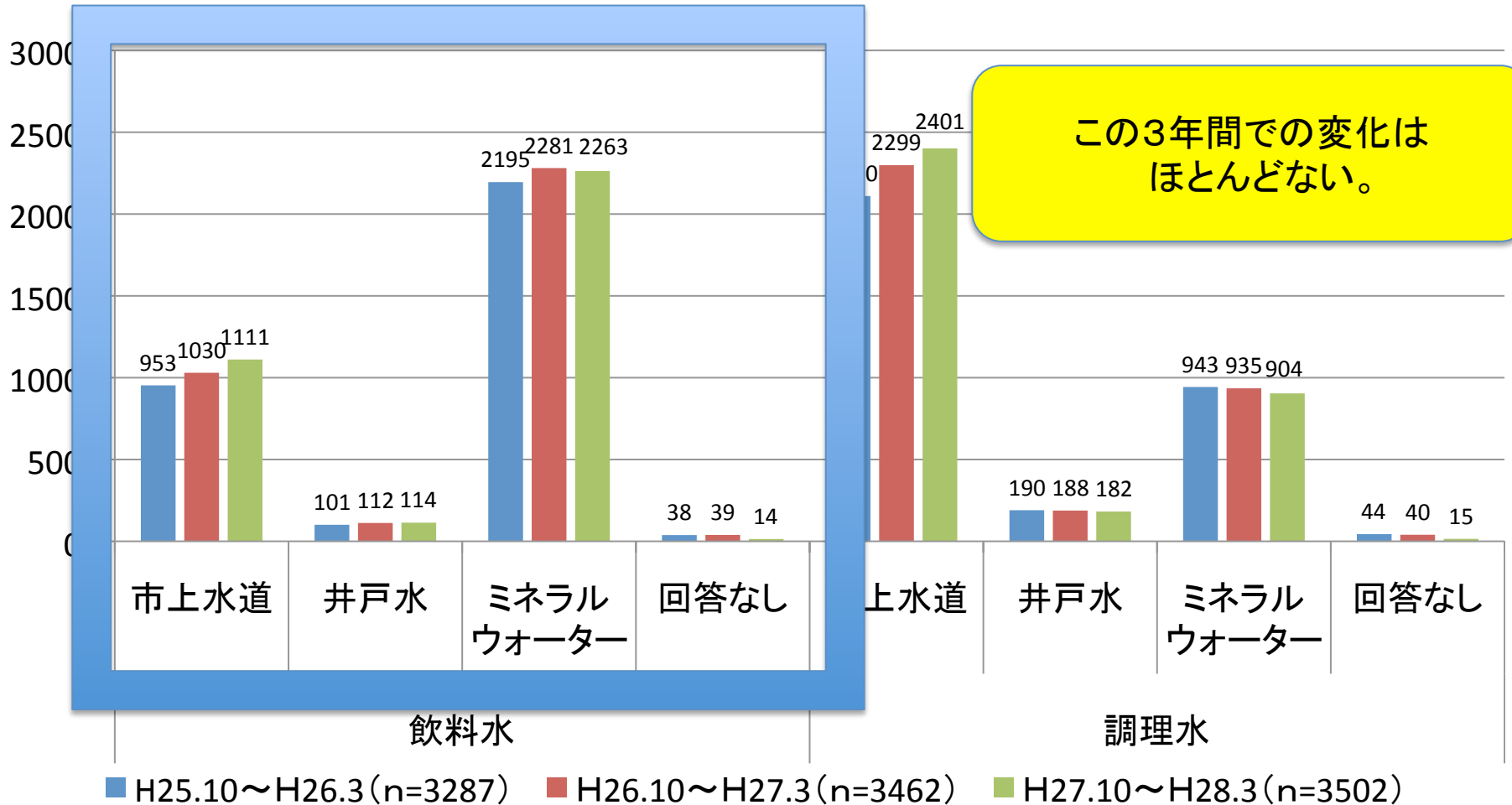


食品行動は場所により異なる

表1 福島県産農作物摂取行動、水道水摂取行動に関するアンケートの結果

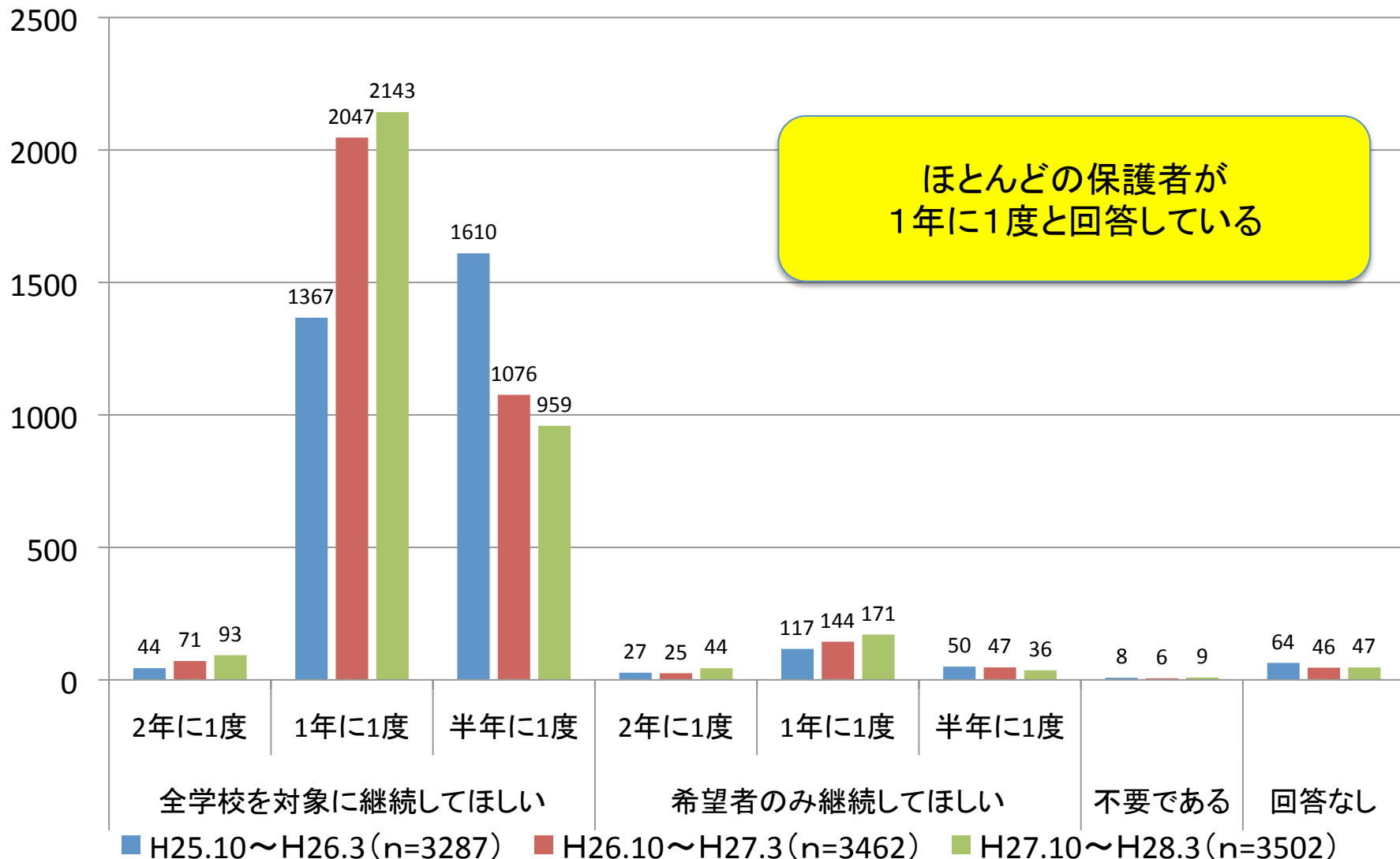
地域	人数	水道水を選 避ける	福島県産の 米を選 避ける	福島県産の 野菜を選 避ける	福島県産米と野菜、 水道水を全て選 避ける	福島県産米と野菜、水道 水を全て選 避ける親の割合
三春町	362	105	46	50	14	4%
南相馬市	638	507	492	465	362	57%
相馬市	77	62	59	65	50	65%
大子町	431	51	33	102	9	1%
郡山市	208	106	89	96	47	23%
いわき市	291	160	142	161	88	30%

飲料水および調理水にミネラルウォーターを使うか？ 南相馬市 学校検診での問診結果 3年間の推移

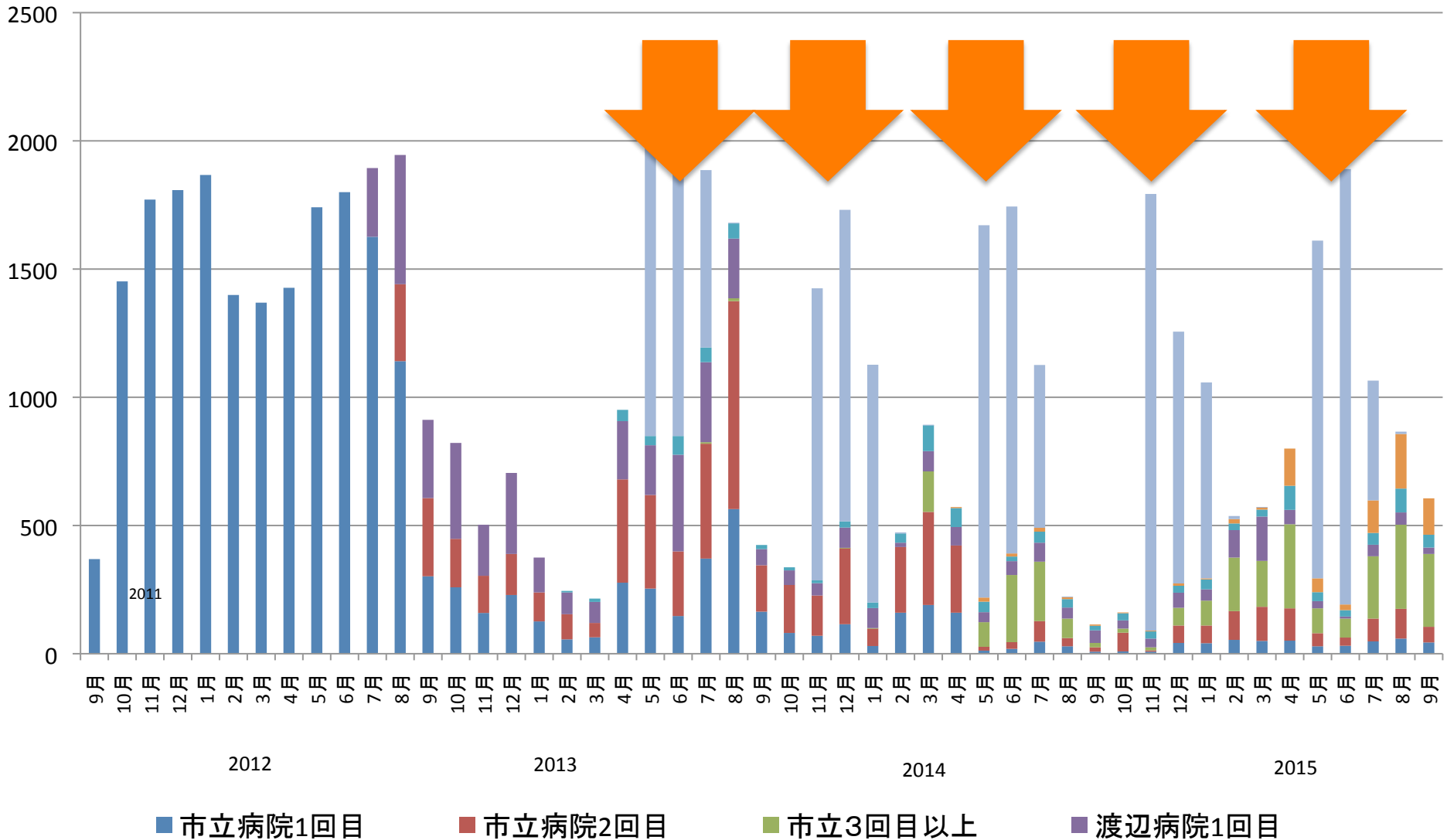


今後のWBC検査は必要か？

南相馬市 学校検診での問診結果 3年間の推移



月別受診者数の推移
平成27年4月～平成27年9月



Babyscan (検出限界 50Bq/body) 4分
2016.1 現在 検出無し。

南相馬、いわき、平田に配備



- WBC検査受診者では、食品の忌避傾向強い。
- 水については浜通りに特に強い傾向。

- 検査の継続の声は依然強い。
- 放射線に関する知識の継続的な啓蒙の必要性

今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. **慢性疾患の推移について**
8. 高齢化・孤立に関する問題について

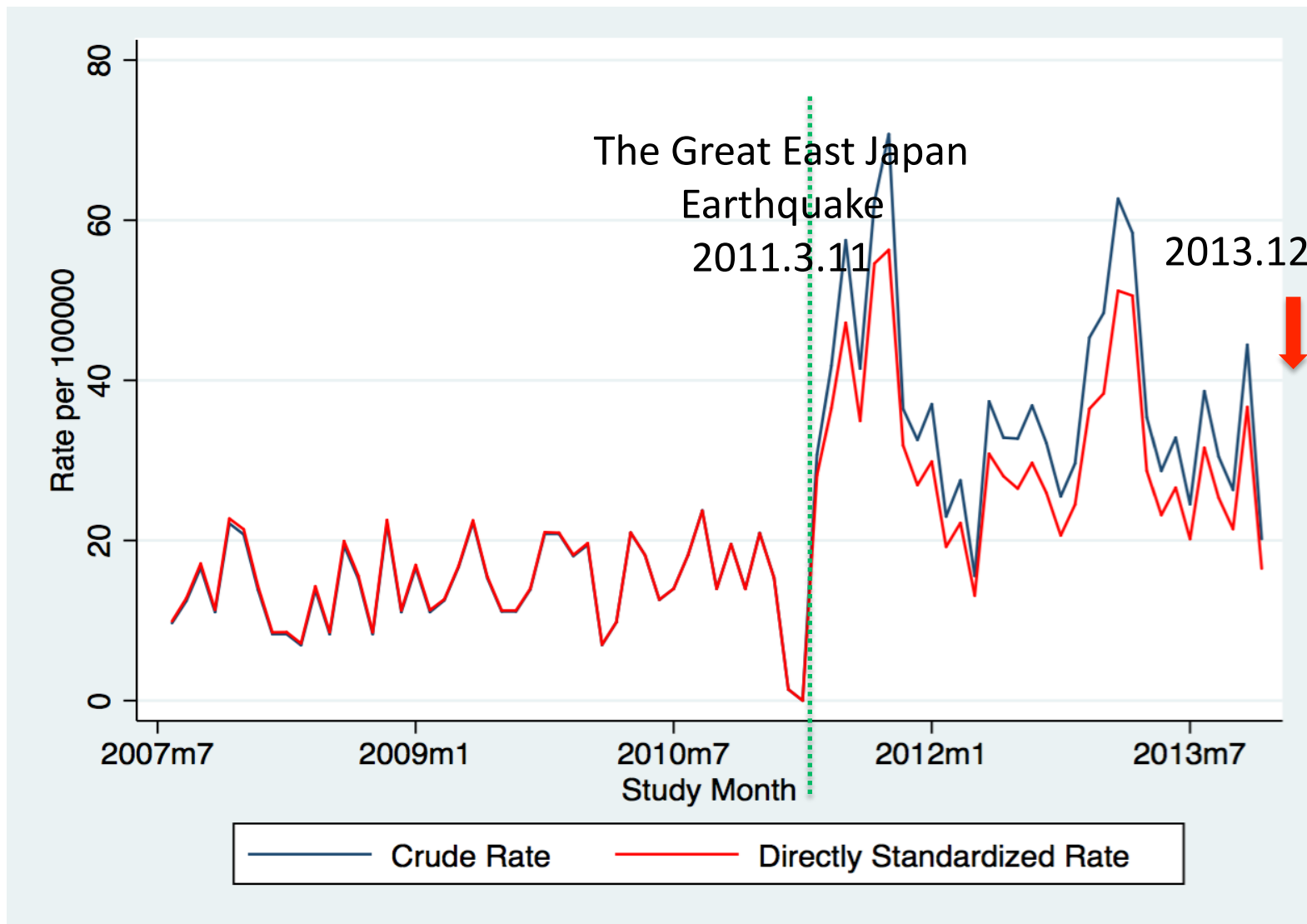
震災直後の住民検診から



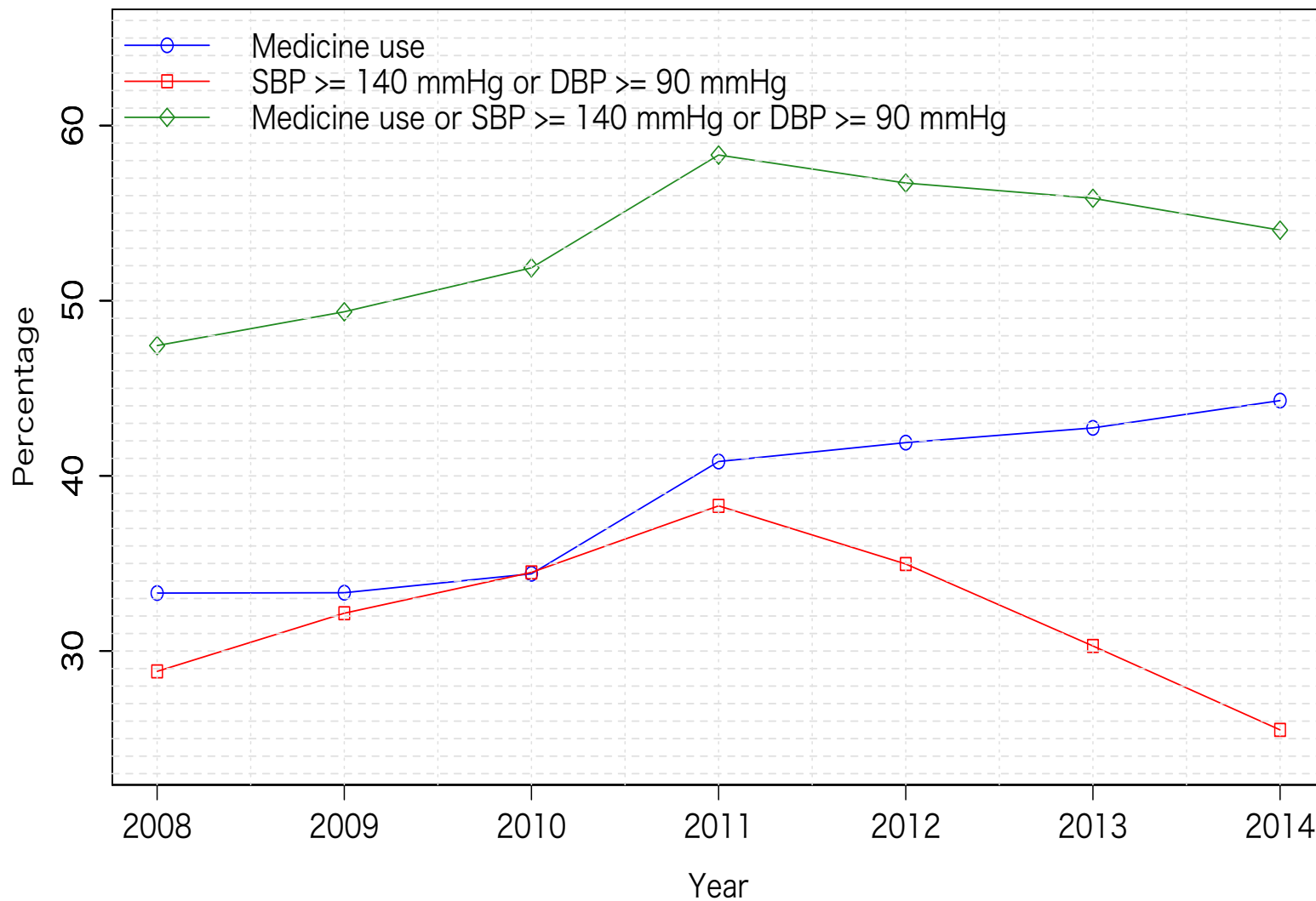
2011年5月より飯舘村、相馬市玉野地区で健康診断を行った。
急性放射線障害は存在せず、抑うつおよび慢性疾患の悪化が明らかになった。

- Tsubokura et al. Disaster Med Public Health Prep. 2014 Feb;8(1):30-6.
- Sugimoto et al. Bull World Health Organ. 2012 Aug 1;90(8):629-30.

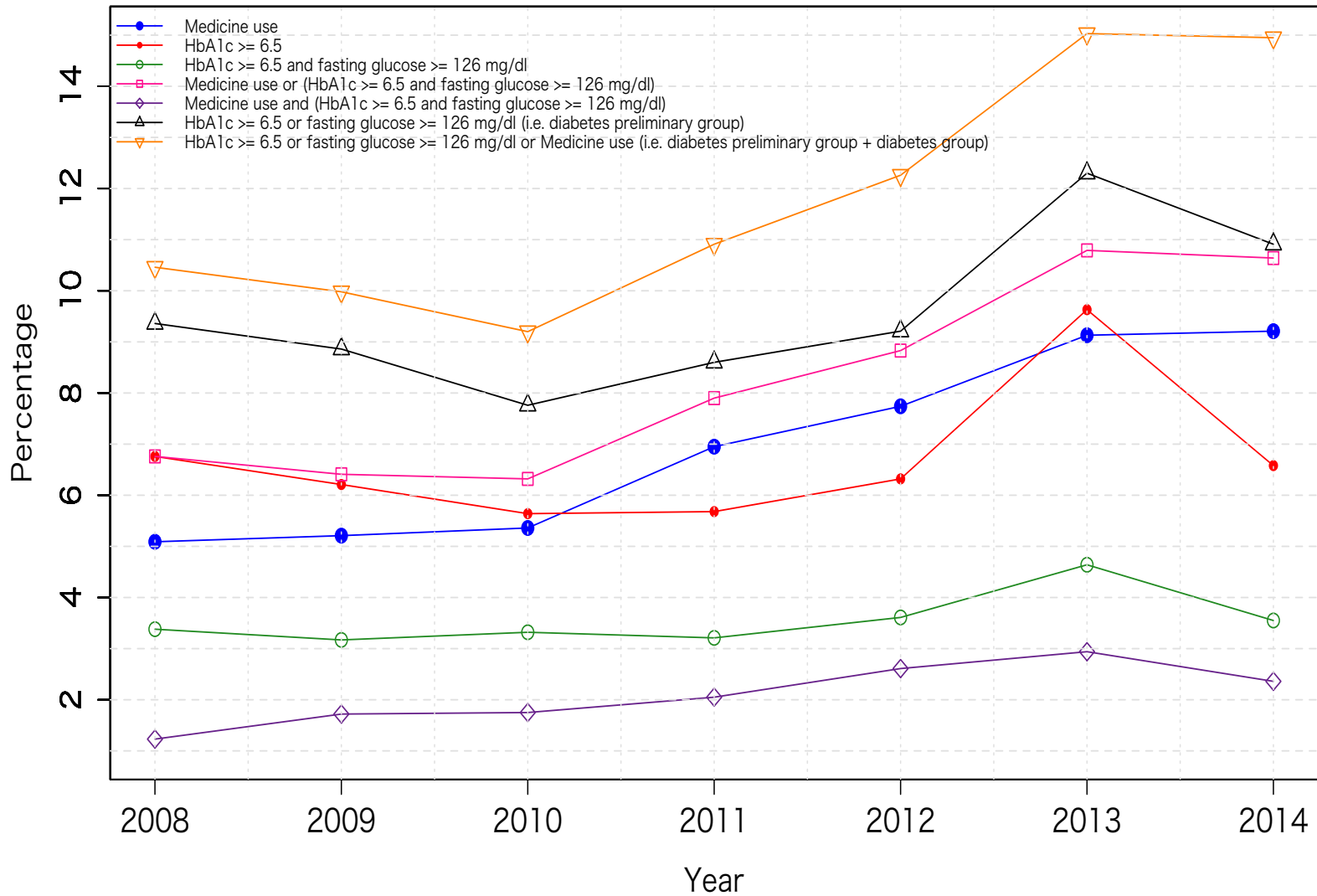
1ヶ月毎の人口10万人あたりの脳卒中入院者数(人口調整、年齢調整後)



生活習慣病について(高血圧)



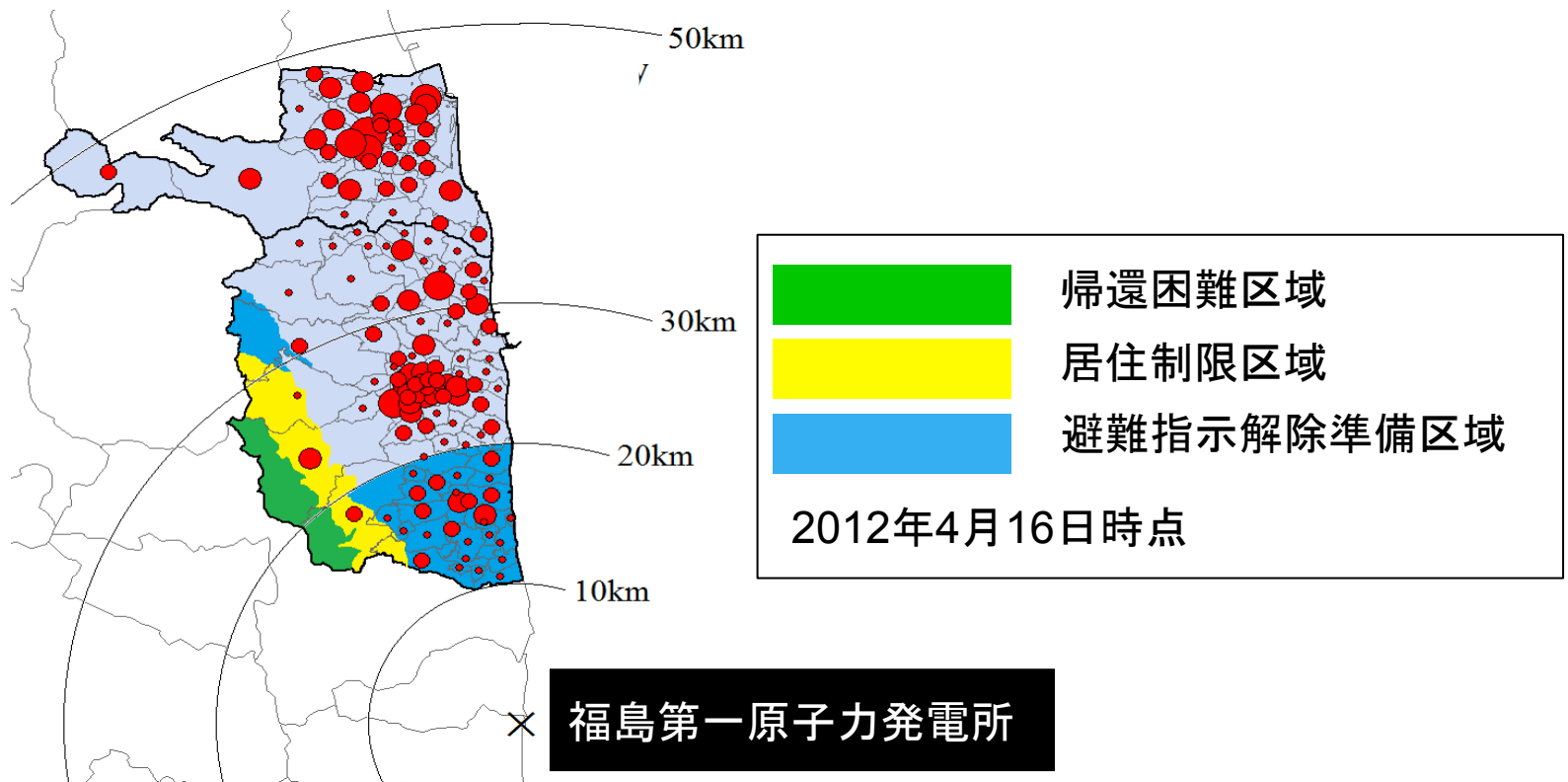
生活習慣病について(糖尿病)



南相馬市・相馬市における特定健診データを用いた解析

■ サブグループにおける慢性疾患の状態の差

- 圏内在住
- 圏外在住



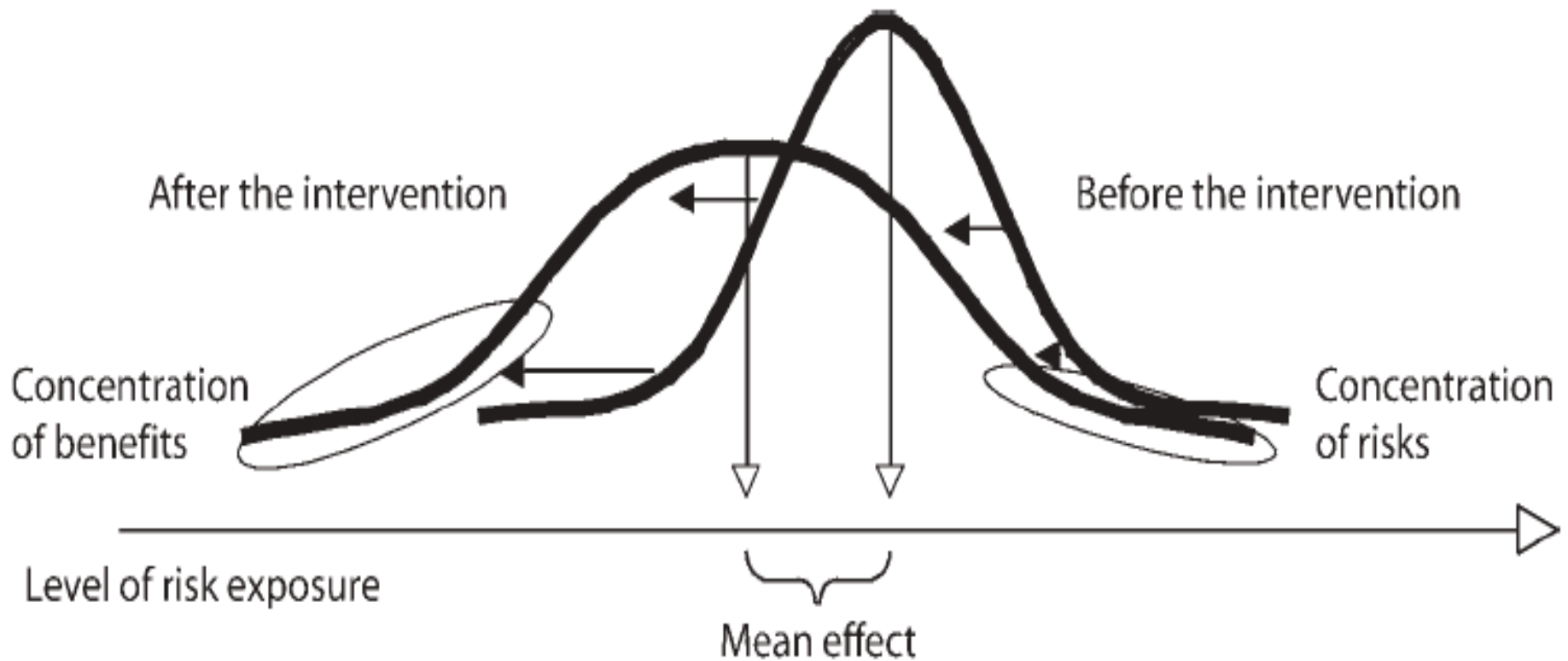
● 赤い円は2010年度の健診参加者の分布。円の大きさは参加者の人数に比例。

糖尿病とコレステロールはどうやら長期的に悪い。

	避難	自主・非避難	P 値 (避難 vs 自主・非避難)
糖尿病			
2011	1.12 (0.70-1.79)	0.94 (0.81-1.10)	p=0.5
2012	1.21 (0.88-1.67)	1.11 (0.97-1.27)	p=0.6
2013	1.55 (1.15-2.09)**	1.33 (1.17-1.52)***	p=0.3
2014	1.60 (1.18-2.16)**	1.27 (1.11-1.45)***	p=0.1
高脂血症			
2011	1.10 (0.94-1.27)	1.00 (0.95-1.05)	p=0.3
2012	1.16 (1.05-1.29)**	1.03 (0.98-1.08)	p<0.05
2013	1.30 (1.18-1.43)***	1.12 (1.07-1.17)***	p<0.01
2014	1.20 (1.08-1.32)**	1.14 (1.09-1.20)**	p=0.6
高血圧			
2011	1.05 (0.91-1.21)	1.05 (1.01-1.10)	p=1.0
2012	1.04 (0.94-1.14)	1.03 (0.99-1.07)	p=1.0
2013	1.10 (1.00-1.21)*	1.01 (0.97-1.05)	p=0.05
2014	0.94 (0.85-1.05)	0.95 (0.91-0.99)*	p=0.8

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 : ベースライン (2008-2010) との比較

Population based approach



Source. Adapted from Rose.^{6(p74)}

Note. Arrows depict the shifting of the curve after a population-level approach. Circles indicate where the variation in risk is most flagrant.

- 慢性疾患、特に糖尿病の悪化は続いている。
(そろそろ止まった?)
- 放射線の影響の数十倍となる可能性。



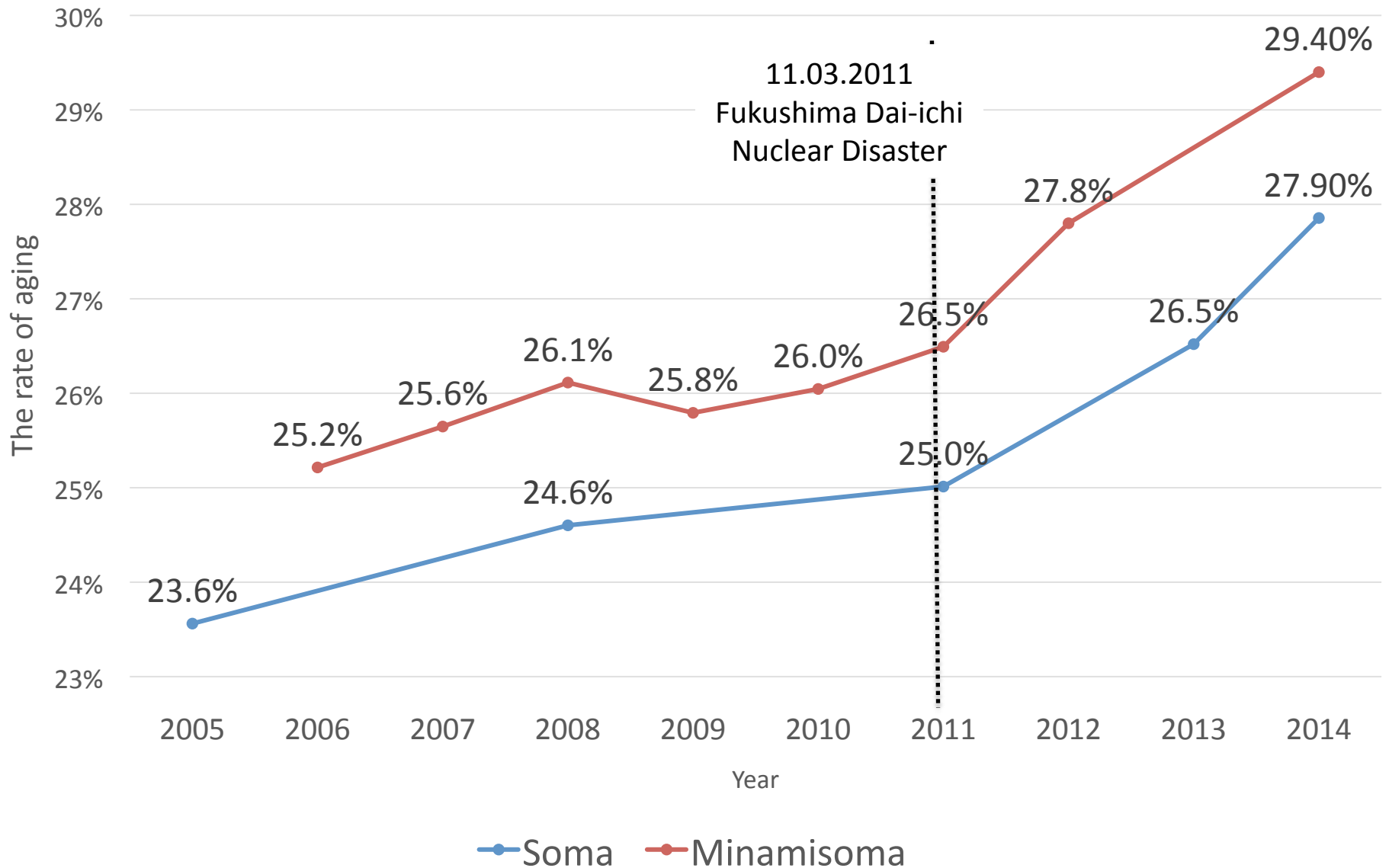
今日の話題

(南相馬・相馬の状況を中心として)

1. 初期避難対策にまつわる問題について
2. 低線量被ばくについて
3. 住民の内部被ばく量について
4. ヨウ素被ばくと甲状腺がんについて
5. 住民の外部被ばく量について
6. 被ばくに関する不安や知識の程度について
7. 慢性疾患の推移について
8. 高齢化・孤立に関する問題について

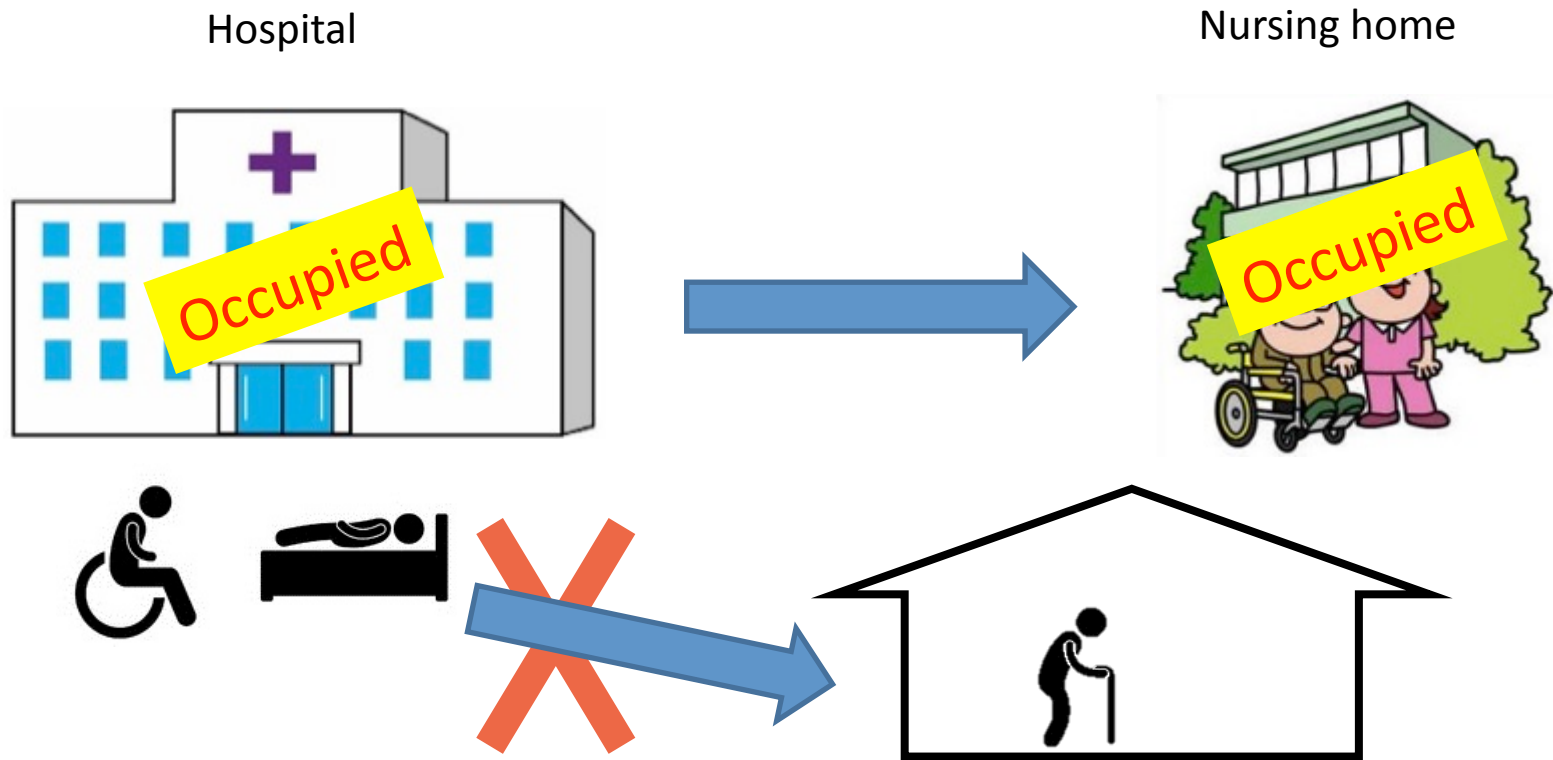
震災前後における高齢化の加速

Population of Minamisoma and Soma city (2005 – 2014)

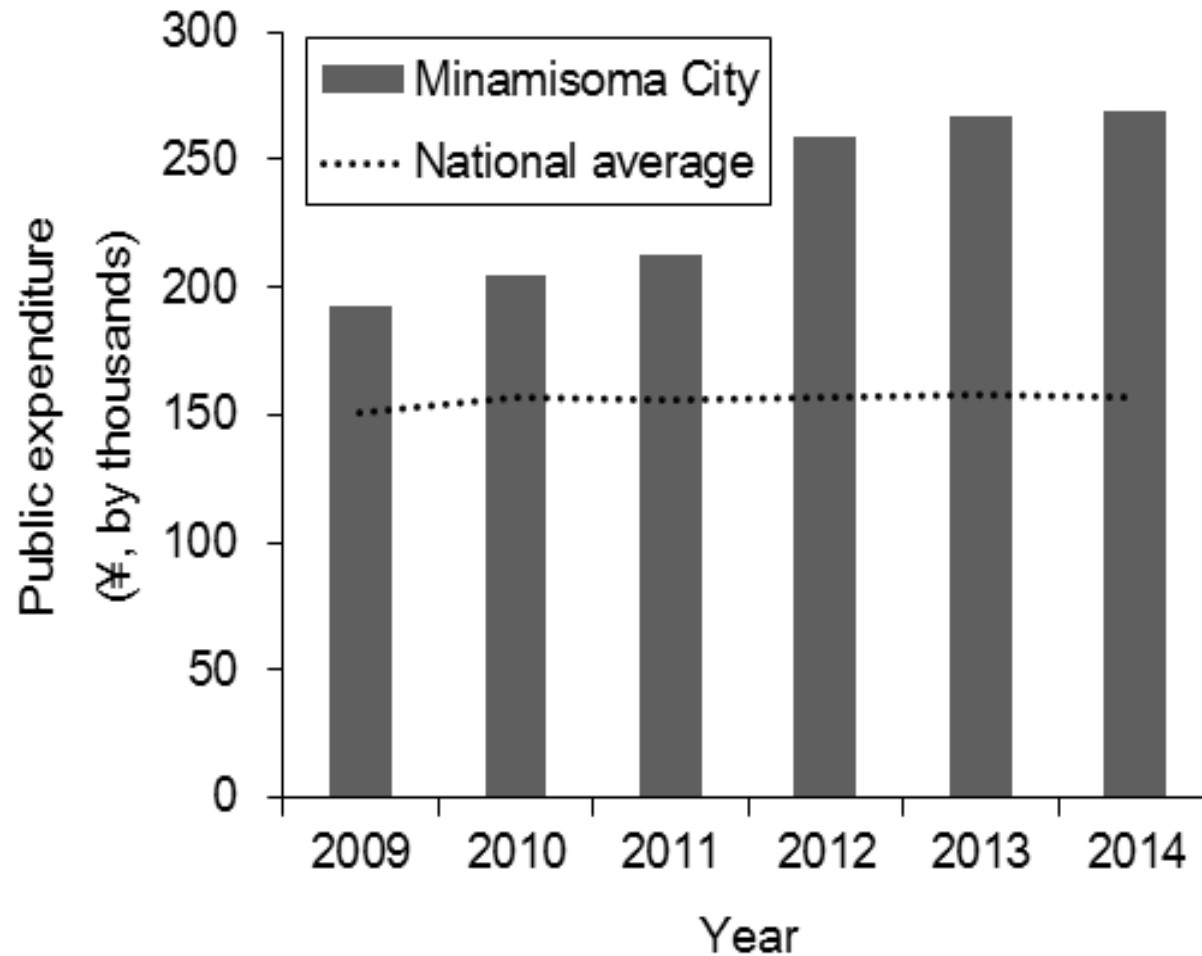


The rapid aging of the population after the disaster caused an extra burden on the local health system

- All of the nursing homes in our cities are fully occupied.
- We have a waiting list for discharge.



震災後の一人あたりの介護費用



今の南相馬で起きていること。

結局何が健康のために大事なのか？

乳がん患者さんはやや遅れて 発見されることが増えている。

	震災後 (N=72)	震災前 (N=74)	P値 ¹
3ヶ月以上の受診の遅れ	18 (25%)	17 (23.3%)	0.77
1年以上の受診の遅れ	11 (15.2%)	4 (5.4%)	0.050

1. 検定 : chi-square test

3ヶ月以上の受診の遅れは、震災前後で変化なし。

1年以上の長期の受診の遅れは、震災後に有意に増加。

健康とは何なのか？



何がこの子の健康を害してしまうだろうか？

- 国際情勢
- 政治経済的動向
- 教育や仕事の環境
- コミュニティーの結束
- 栄養状態
- 肺炎
- ……



- 放射線は既に健康問題の主体では無い。高齢化・慢性疾患の悪化など課題は多い。
- 現在の所、全体としては死亡率は変化していない。
- がん死亡率の変化も無い。
- 震災直後の高齢者への環境変化による負担は非常に大きかった。

南相馬市立総合病院の発想の転換

- 医療者は少ない
- 高齢者が多い
- 田舎
- 災害
- 偏見
- Etc.....
- 若者がイニシアチブをとれる
- 症例数が多い
- 人のつながりが強い
- 研究につなげる。
- 発信を続ける
- Etc.....

よいサイクルに入れるように。

ありがとうございました。