

分野を横断した放射線疫学の研究会
2019夏

**喫煙習慣の異なる原発等核施設労働者の
被曝線量と死亡率の関係
－放射線影響協会のデータの解析－**

永井 宏幸

NPO市民科学研究室／低線量被曝研究会

nagai.koko@gmail.com

放影協会 第Ⅴ期報告書（2015年）

原子力規制委員会原子力規制庁委託調査報告書

低線量放射線による
人体への影響に関する疫学的調査
（第Ⅴ期調査 平成22年度～平成26年度）

放射線影響協会

放射線疫学調査委員会

コホート研究

- **放射線従事者中央登録センターに1999年3月までに登録された放射線業務従事者**
- 第Ⅴ期の解析対象： 20歳以上の日本人男性
204,103人
- 観察期間20年（1991-2010年）

登録義務をもつ事業者

表1 わが国の原子力事業者
(原子力業務従事者被ばく線量登録管理制度への参加事業者)

2014年(平成26年)3月末時点

	事業者名	原子力事業所所在地(事業所数)
原子力研究開発	独立行政法人 日本原子力研究開発機構	青森県(1)、茨城県(4)、 群馬県(1)、岐阜県(1)、 京都府・兵庫県(1)、 福井県(2)、岡山県(1)
商業用 原子力発電	北海道電力株式会社	北海道(1)
	東北電力株式会社	青森県(1)、宮城県(1)
	東京電力株式会社	福島県(2)、新潟県(1)
	中部電力株式会社	静岡県(1)
	北陸電力株式会社	石川県(1)
	関西電力株式会社	福井県(3)
	中国電力株式会社	島根県(1)
	四国電力株式会社	愛媛県(1)
	九州電力株式会社	佐賀県(1)、鹿児島県(1)
	日本原子力発電株式会社	茨城県(2)、福井県(1)

燃料加工 ・その他	日本原燃株式会社	青森県(2)
	原子燃料工業株式会社	茨城県(1)、大阪府(1)
	住友金属鉱山株式会社	茨城県(1)
	株式会社グローバル・ニュークリア・ フュエル・ジャパン	神奈川県(1)
	三菱原子燃料株式会社	茨城県(1)
	株式会社ジェー・シー・オー	茨城県(1)

商業用原子力発電 10
燃料加工・その他 6
原子力研究開発 1

第5表-1 死因別累積線量群別O/E比、傾向性検定、ERR%/10mSv

打ち切り日 2010年12月31日

層別変数 年齢、暦年(1991-1994、1995-1999、2000-2004、2005-2010)、地域

潜伏期 全死亡、外因死:0年、白血病:2年、新生物、非新生物疾患:10年

解析対象者数:204,103人

死 因	累積線量群(mSv)						合計	ERR%/10mSv 90%信頼区間
	<5	5-	10-	20-	50-	100+		
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比		
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間		
全死亡	12929	2013	2003	2033	944	597	20519	0.29
	13469.5	1756.2	1830.1	1913.3	930.6	619.4	20519	-0.09 : 0.68
	0.96	1.15	1.09	1.06	1.01	0.96	0.115	
	0.94 - 0.98	1.1 - 1.2	1.05 - 1.14	1.02 - 1.11	0.95 - 1.08	0.89 - 1.04		
白血病	129	26	15	26	8	5	209	-0.25
	136.9	18.3	18.8	19.5	9.5	6.1	209	-4.03 : 3.52
	0.94	1.42	0.80	1.34	0.84	0.82	0.569	
	0.79 - 1.12	0.93 - 2.08	0.45 - 1.32	0.87 - 1.96	0.36 - 1.65	0.27 - 1.92		
白血病 (慢性リンパ性白血病を除く)	129	25	15	25	8	5	207	-0.27
	135.5	18.2	18.6	19.3	9.4	6.0	207	-4.07 : 3.52
	0.95	1.38	0.81	1.30	0.85	0.84	0.575	
	0.79 - 1.13	0.89 - 2.03	0.45 - 1.33	0.84 - 1.91	0.37 - 1.67	0.27 - 1.95		
内因死(白血病を除く)	11616	1579	1635	1618	756	394	17598	0.95
	12089.6	1429.6	1469.3	1514.5	702.0	392.9	17598	0.44 : 1.46
	0.96	1.10	1.11	1.07	1.08	1.00	0.001	
	0.94 - 0.98	1.05 - 1.16	1.06 - 1.17	1.02 - 1.12	1 - 1.16	0.91 - 1.11		
全悪性新生物 (白血病を除く)	5249	688	709	738	367	178	7929	1.20
	5436.2	648.5	664.6	682.7	318.1	178.9	7929	0.43 : 1.96
	0.97	1.06	1.07	1.08	1.15	1.00	0.005	
	0.94 - 0.99	0.98 - 1.14	0.99 - 1.15	1 - 1.16	1.04 - 1.28	0.85 - 1.15		

$$= \text{ERR/Sv}$$

合計 ERR\%/10mSv
90%信頼区間

傾向性検定
p値

全悪性新生物
(白血病を除く)

7929

1.20

7929

0.43 : 1.96

0.005

関連性の判断基準（報告書）

- 仮説検定のp値
 - 仮説「死亡率は被曝の影響を受けない」の信頼度を確率pで表す.
 - $p < 0.05$ ならば仮説の反証とする.
 - 「明らかな証拠」の要件.

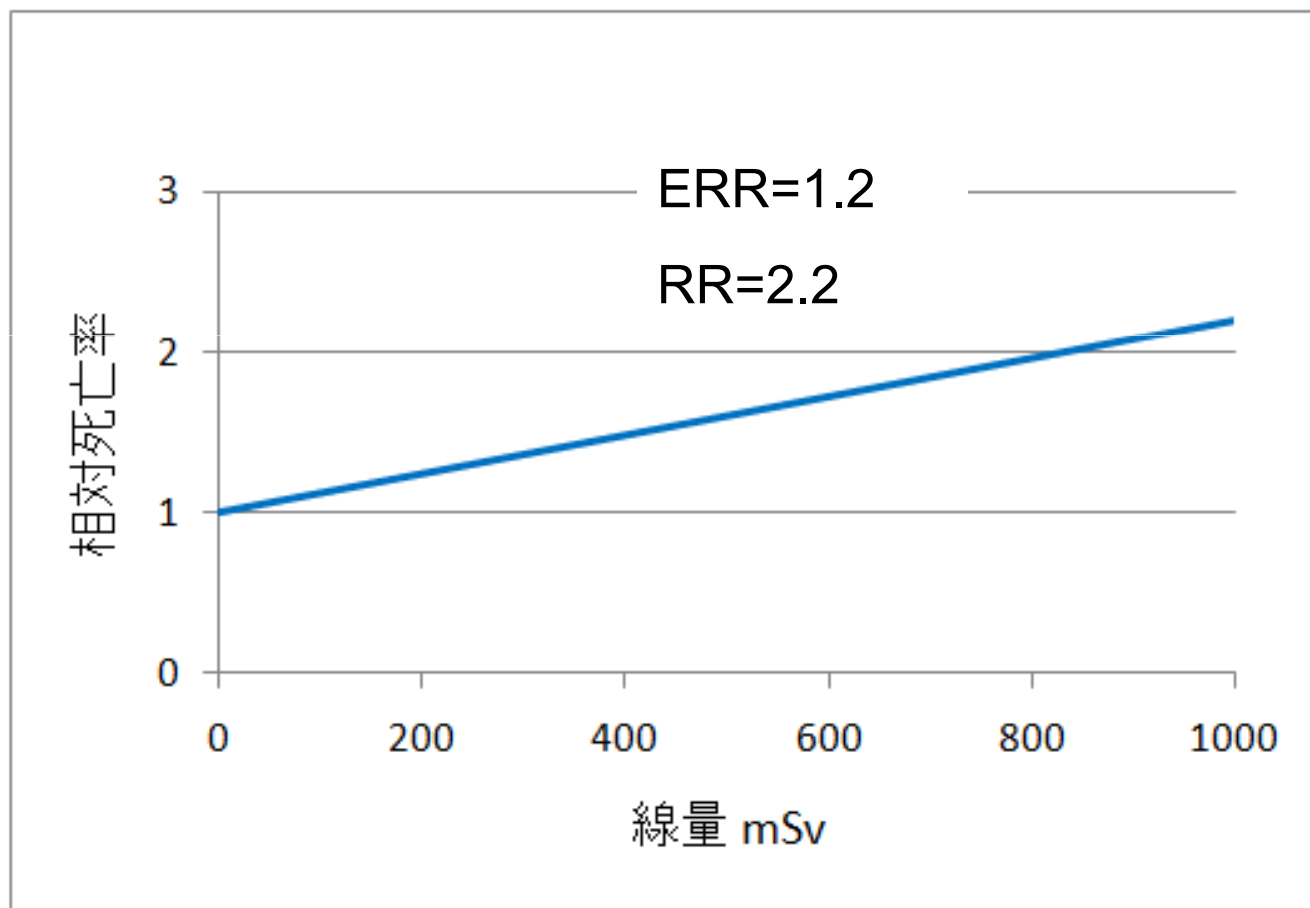
$p=0.005$ (がん*)

- ERR（過剰相対リスク）
 - 90%信頼区間で $ERR > 0$ ならば死亡率が被曝の影響を受けている.
 - 「明らかな証拠」の要件.

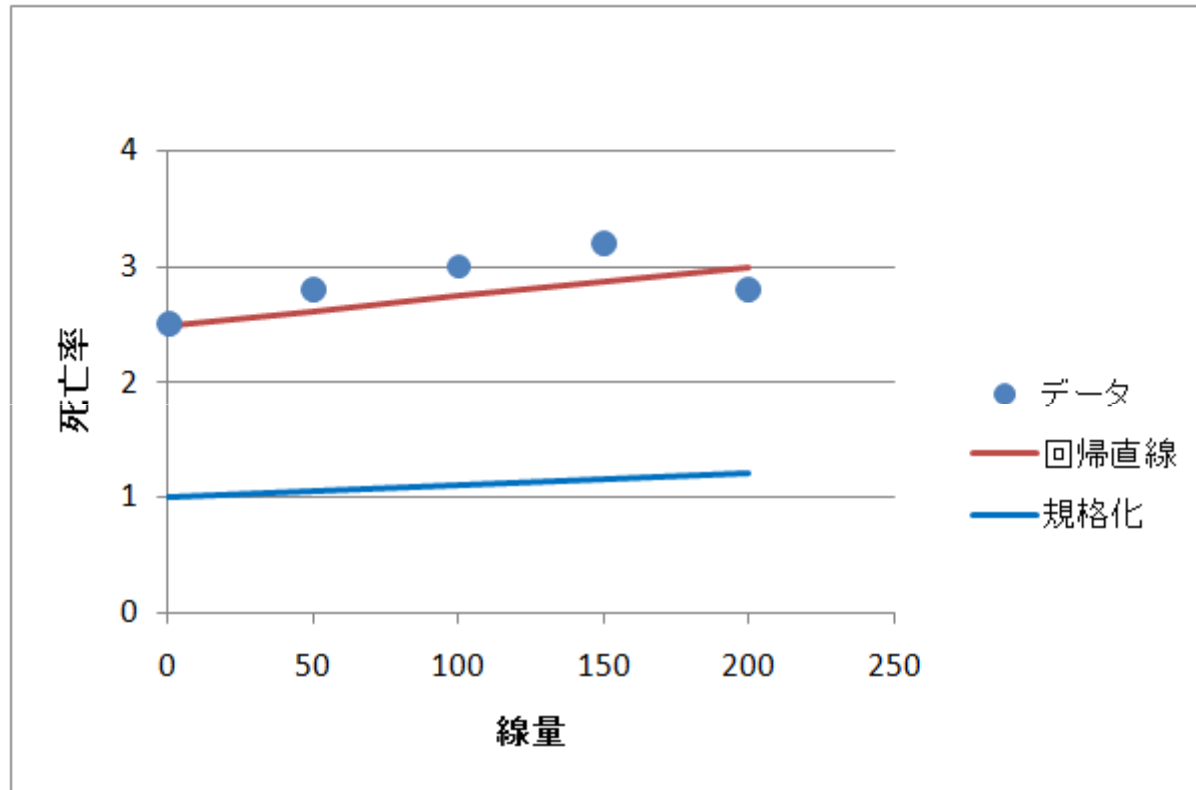
$0.43:1.96$ (がん*)

RR (相対リスク)とERR (過剰相対リスク)

この報告ではRRをRM (相対死亡率)とも表す。



調整変数の値が同じデータで回帰直線を求める。



過剰相対死亡率の回帰分析

回帰分析のモデル

$$y(j, x) = y_0(j)(1 + \beta x) \quad (1)$$

x = 累積実効線量 (潜伏期間 10 年)

β =ERR (過剰相対リスク)

j = 調整変数 年齢, 暦年, 居住地域

年齢 : 17層 (5歳刻み20歳以上)

暦年 : 4層 (5年刻み)

居住地域 : 8層

回帰分析の結果

コホート

増加が有意であった死因 ($p < 0.05$)

観察：20年，
204,103人

	p 値	ERR	90%信頼区間	死亡数
がん*	0.005	1.20	0.43 : 1.96	7,929
非がん	0.044	0.71	0.02 : 1.39	9,483
肺がん	0.001	3.15	1.34 : 4.96	1,756
肝臓がん	0.019	2.52	0.33 : 4.72	1,219
非ホジキンリンパ腫	0.028	8.96	1.30 : 16.62	176

報告書の結論

- 一部のがんに関連性がみられた。しかし、喫煙等の影響を含む可能性が高い。
- したがって、がん死亡率の増加に放射線の影響があるとは結論できない。

→ 現行の線量限度を変更する必要はない。

生活習慣の調査

第1回生活習慣アンケート調査

調査時に原子力施設で働いていた労働者

回答者 46,141

第2回生活習慣アンケート調査

10mSv以上被曝した全労働者, および、ほぼ同数の10mSv未満の労働者

回答者 41,742

両調査の回答者を統合した集団 75,442

観察期間 (1997-2010)および(2005-2010)

サブ・コホート

「がん*死亡率に喫煙の影響が大きい」根拠

	ERR	90%信頼区間
基本調整	0.92	(-0.30 : 2.16)
喫煙調整	0.36	(-0.79 : 1.50)

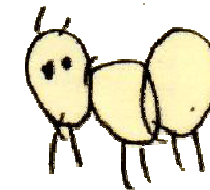
喫煙交絡	61%
------	-----

$$y(j, x) = y_0(j)(1 + \beta x)$$

$$y(i, j, x) = y_0(j)s(i)(1 + \beta x)$$

y = 死亡率, x = 線量.

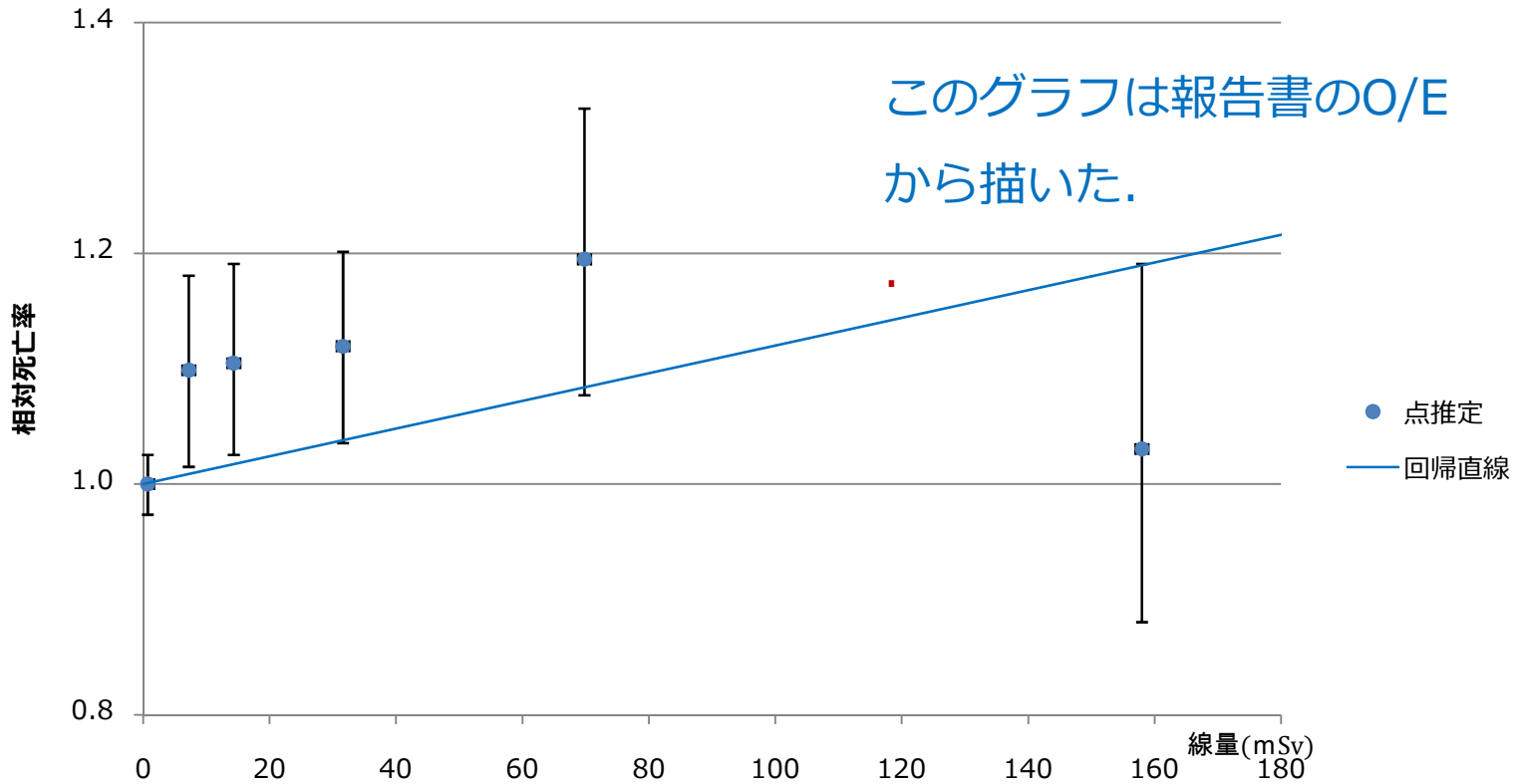
i = 喫煙状態, j = 年齢, 暦年, 地域.



報告書の 予備的分析

がん*の相対死亡率と回帰直線

コホート



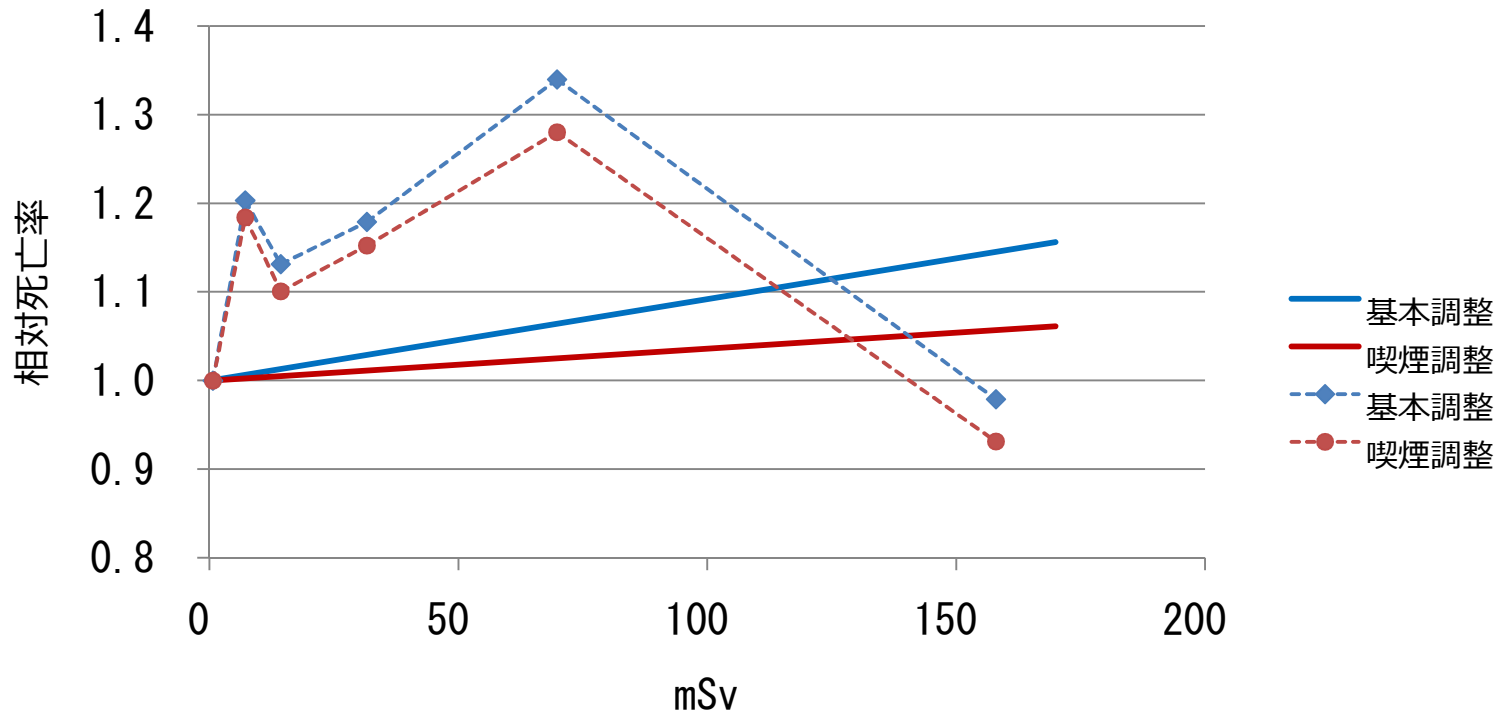
線量群別 O/E (95%信頼区間)

線量群 < 5 , 5- , 10- , 20- , 50- , 100+

相対死亡率と回帰直線 がん*

サブ・コホート

がん*



線量群別のO/E

- 期待死亡数Eは、死亡率が線量によらず一定であると仮定したときの死亡数をいう。
- 同じ調整変数（年齢，暦年，地域）のデータで観察死亡数Oを配分する。
- O/Eは線量群間の死亡率の比を与える。
- 最小線量群を1にしたものを相対死亡率ということにする。

Eの計算例 (smok,age,regで調整)

R とExcel を使用。

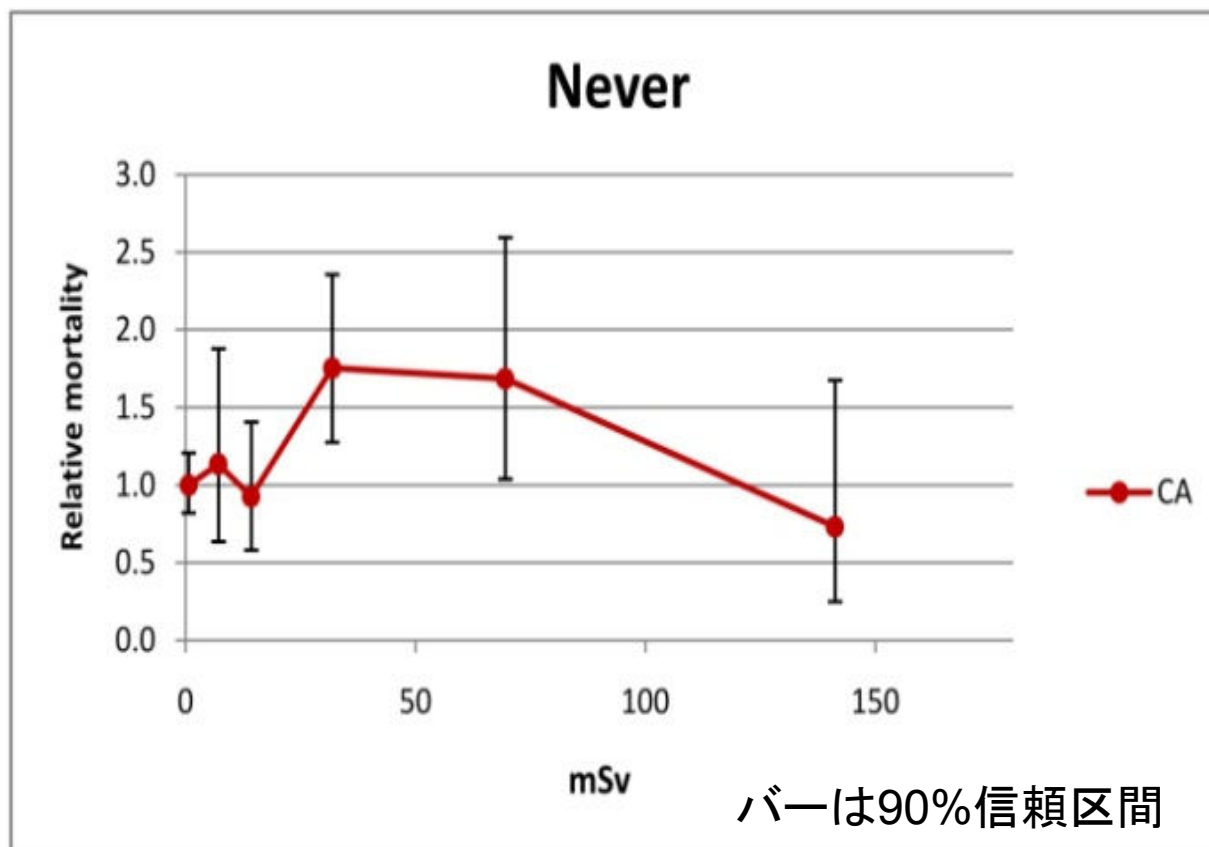
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	dose	smok	age	reg	pyr	case	x	E
2	1	1	1	1	1584	0	0	0
3	1	2	1	1	29	0	0	0
4	1	3	1	1	517	0	0	0
5	1	4	1	1	60	0	0	0
6	1	1	2	1	7193	2	0.00028	1.9847
7	2	1	2	1	37	0	0.00028	0.0101
8	3	1	2	1	16	0	0.00028	0.0045
9	4	1	2	1	2	0	0.00028	0.0007
10	1	2	2	1	243	0	0	0
11	2	2	2	1	1	0	0	0
12	3	2	2	1	1	0	0	0
13	4	2	2	1	0	0	0	0

再分析の結果

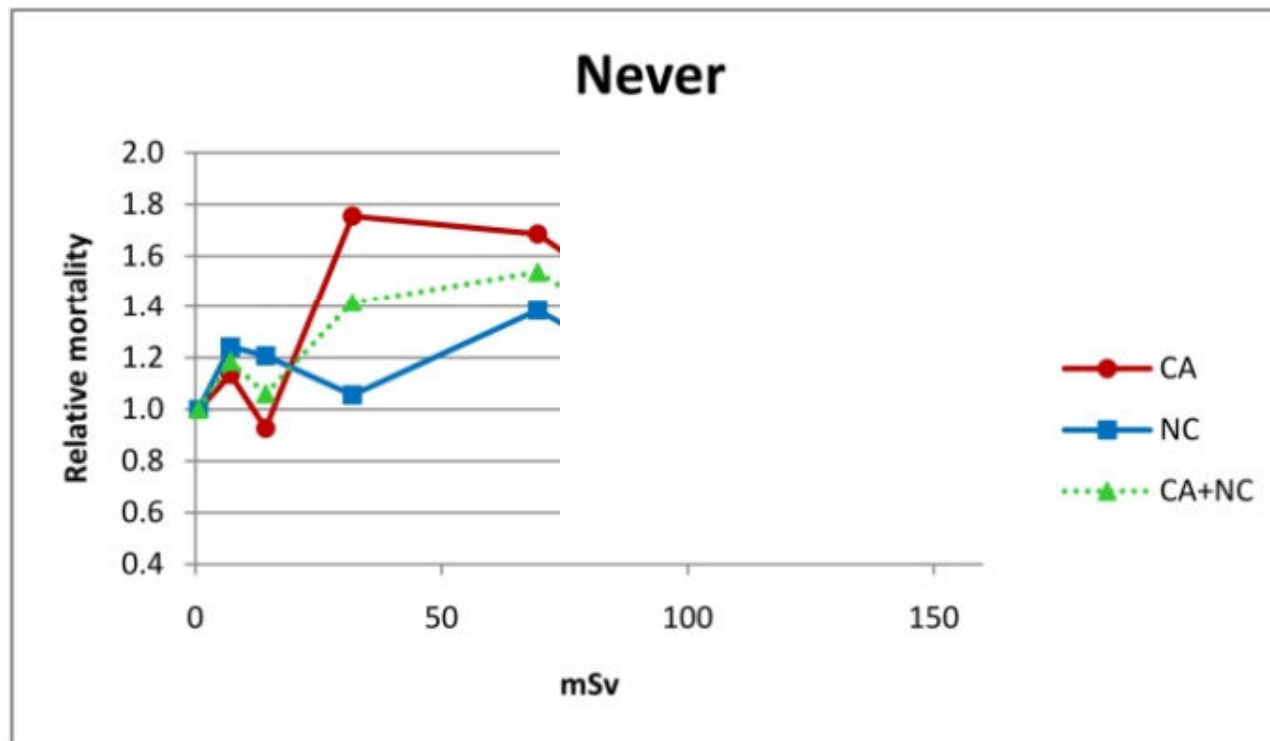
- 線量群別相対死亡率と回帰直線の乖離が大きい.
- 2次回帰曲線のほうが適合性が高い.
 - では2次曲線モデルを採用するか？
 - モデルを使わずに線量群別相対死亡率を使って分析するほうがよい。

入手データの分析

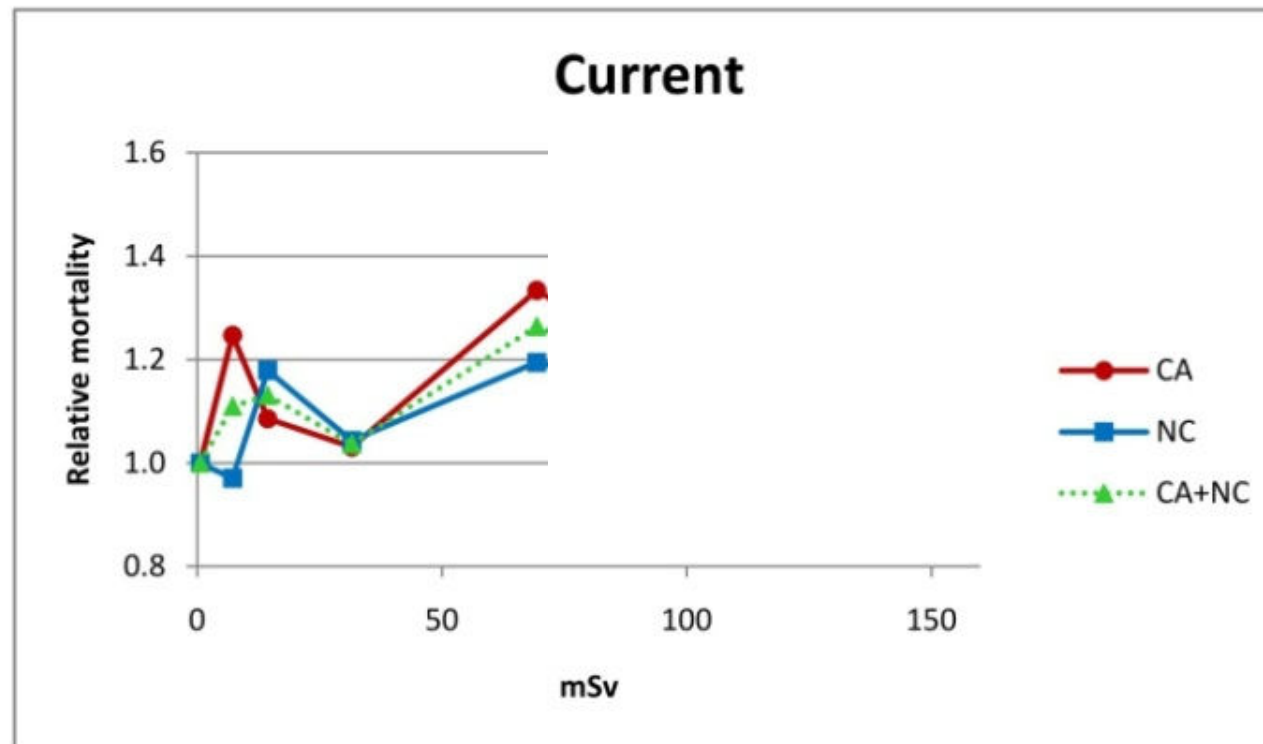
非喫煙の相対死亡率（がん）



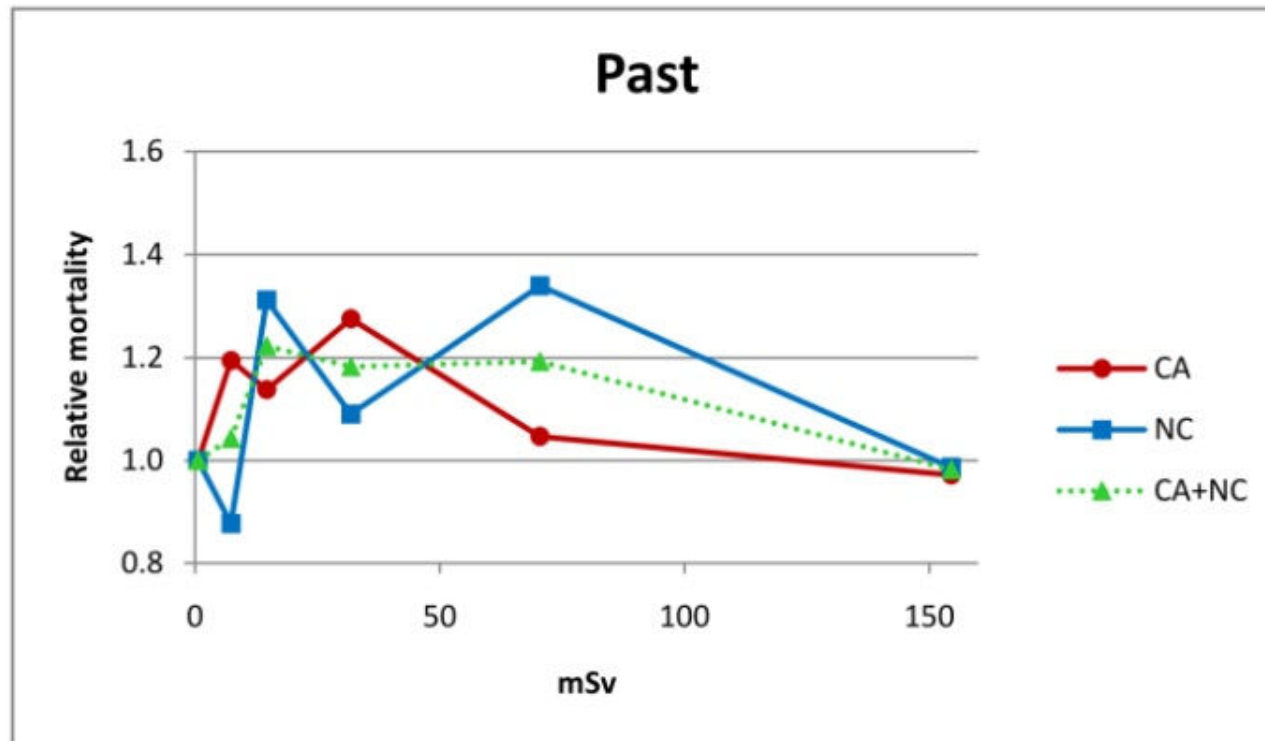
非喫煙者の相対死亡率



喫煙者の相対死亡率



過去喫煙者の相対死亡率

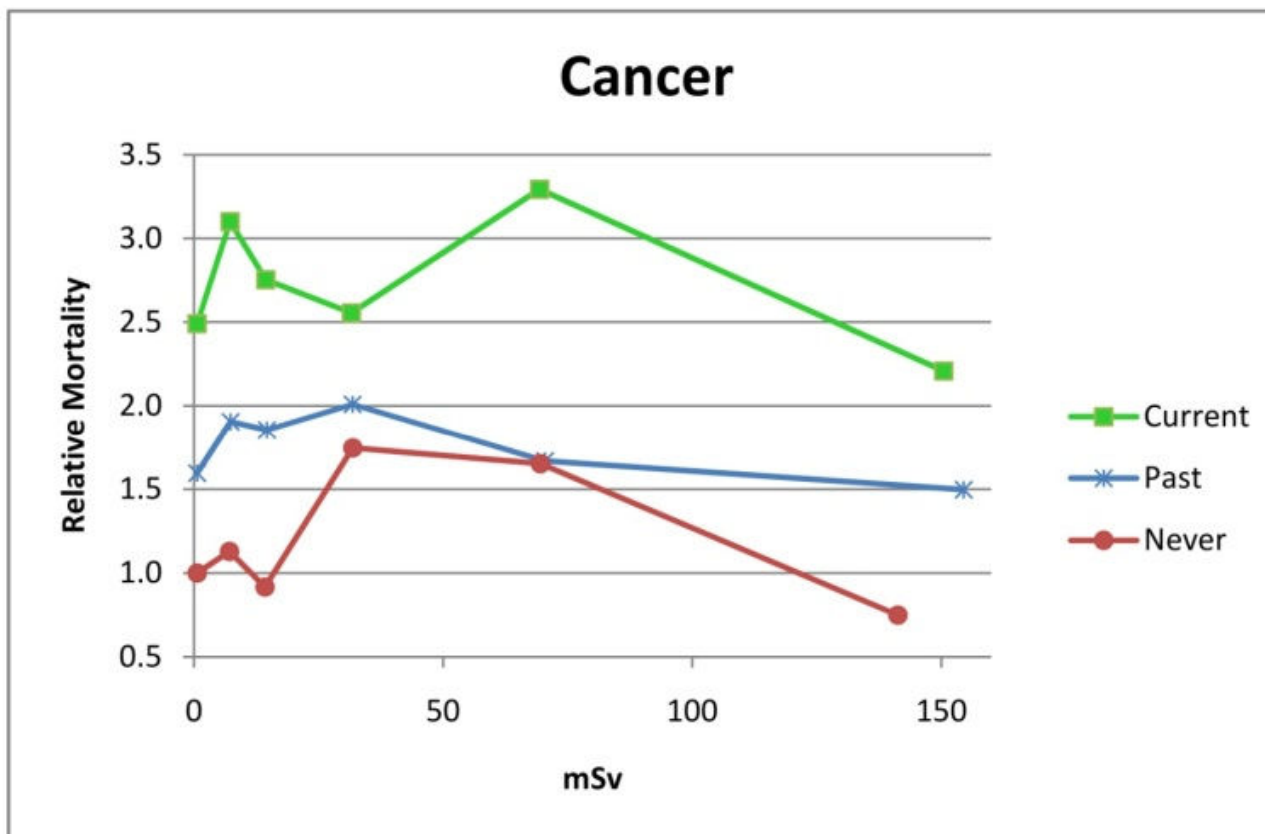


超過死亡数からの喫煙寄与の推定

	がん	非がん
喫煙習慣の調整をせず	115	95
喫煙習慣別に計算した合計	92	72
喫煙寄与	20%	24%

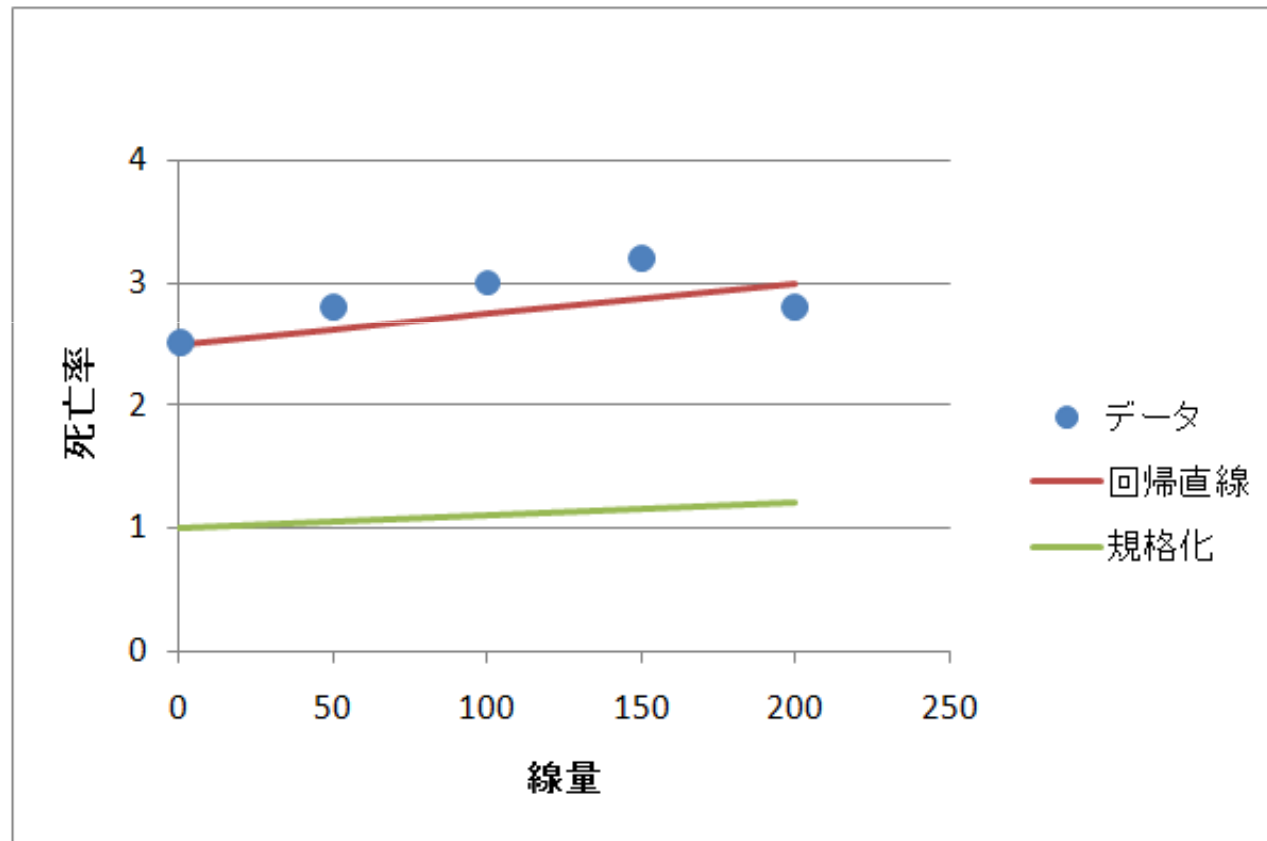
どの喫煙習慣群でも100mSv以下で線量による死亡率の上昇がみられた。

相对死亡率2 (がん*)

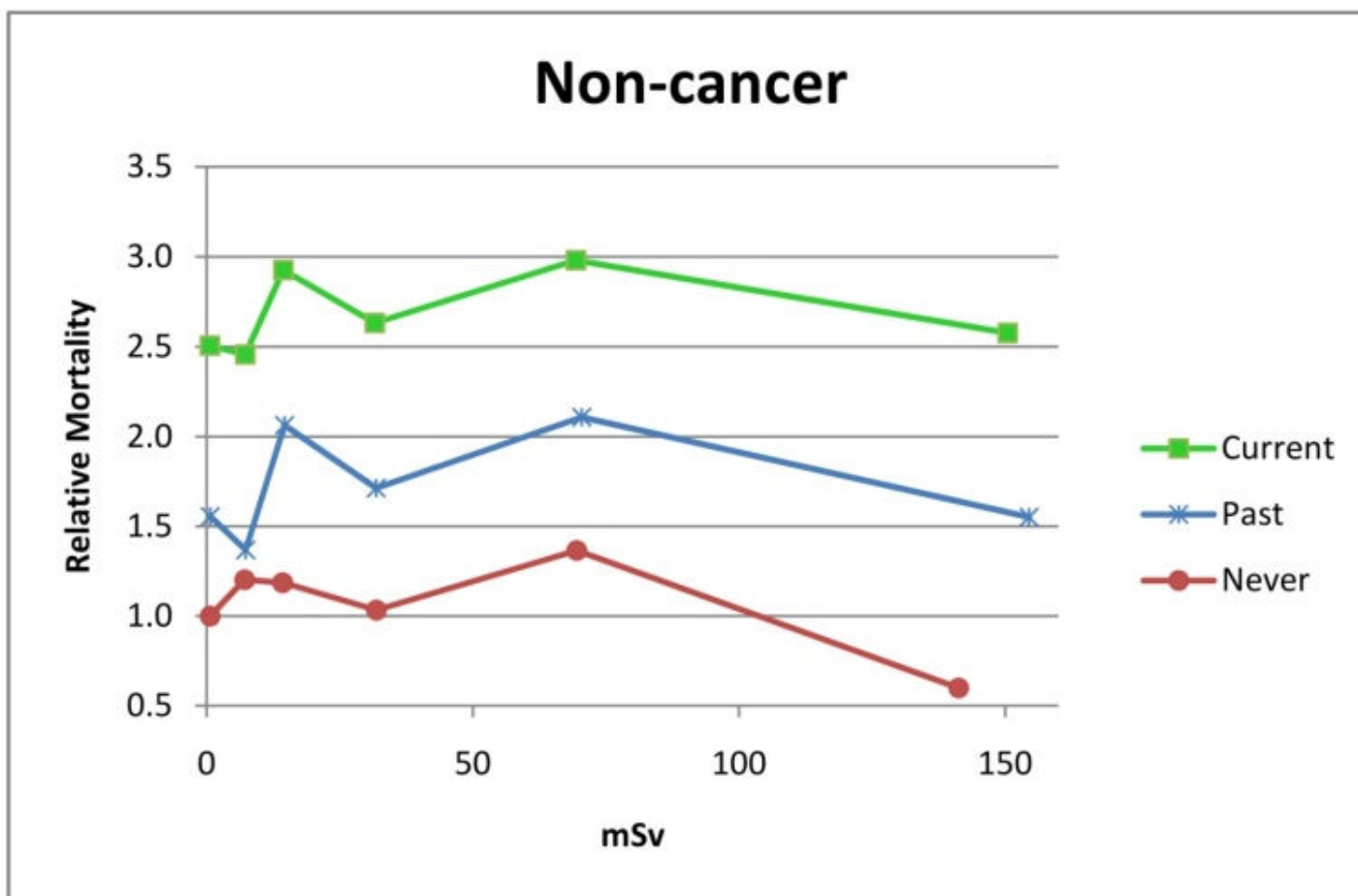


2.0 (current), 1.5 (past)
for Japanese male of age 40 to 79.

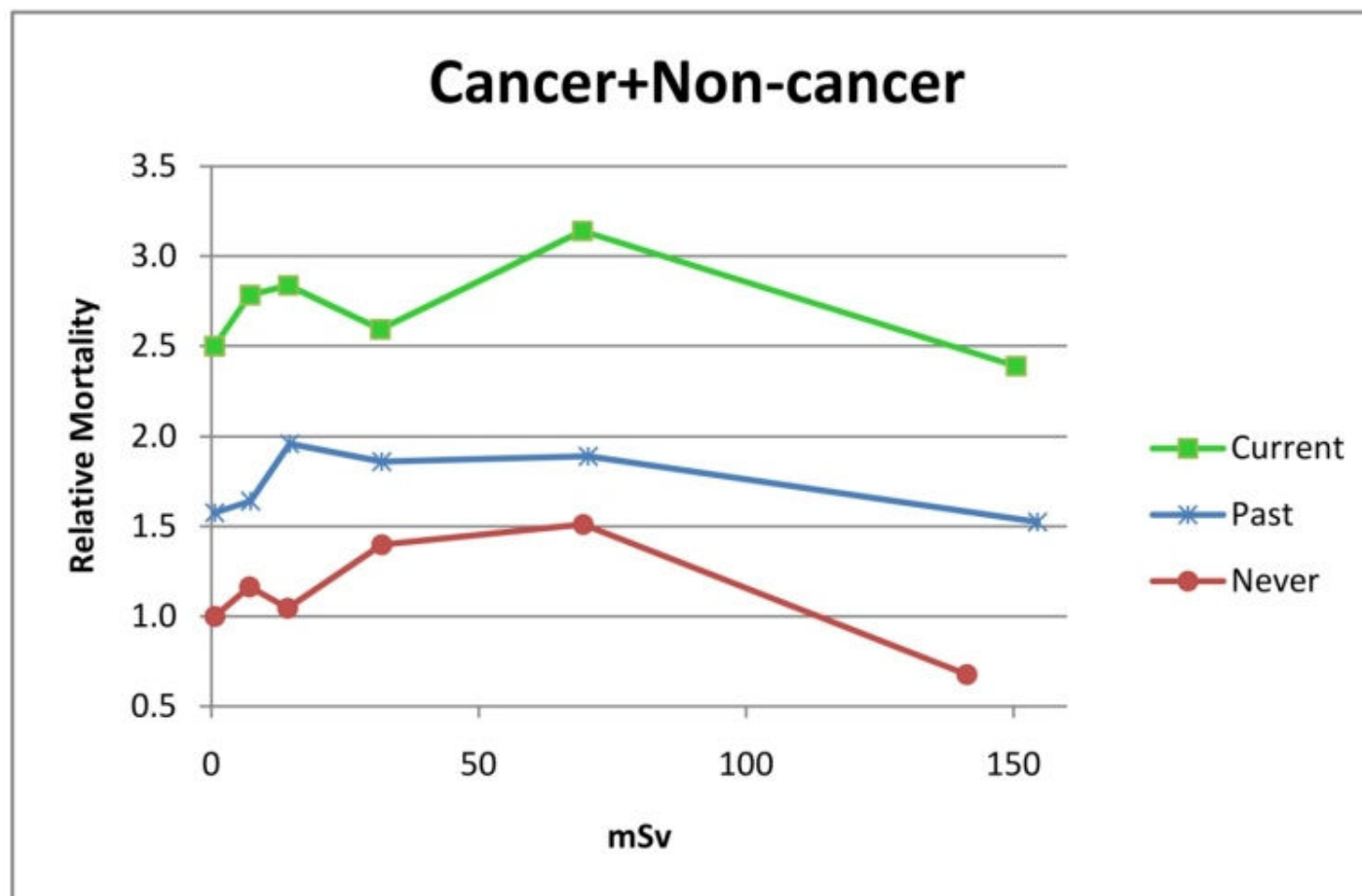
回帰直線と相対死亡率の関係



相対死亡率2 (非がん)



相対死亡率2 (がん* + 非がん)



超過死亡数 喫煙調整による変化

- 線量群の死亡率が最小線量群の死亡率に等しいとして計算した死亡数から観察死亡数が超過した数.

$$ED = O * (RM_1 - 1) / RM_1$$

超過死亡数	がん	非がん
	喫煙区別なし	115
喫煙習慣別で計算	92	72
喫煙寄与	20%	24%

観察死亡数 1,421 1,344

コホートの超過死亡数

コホート

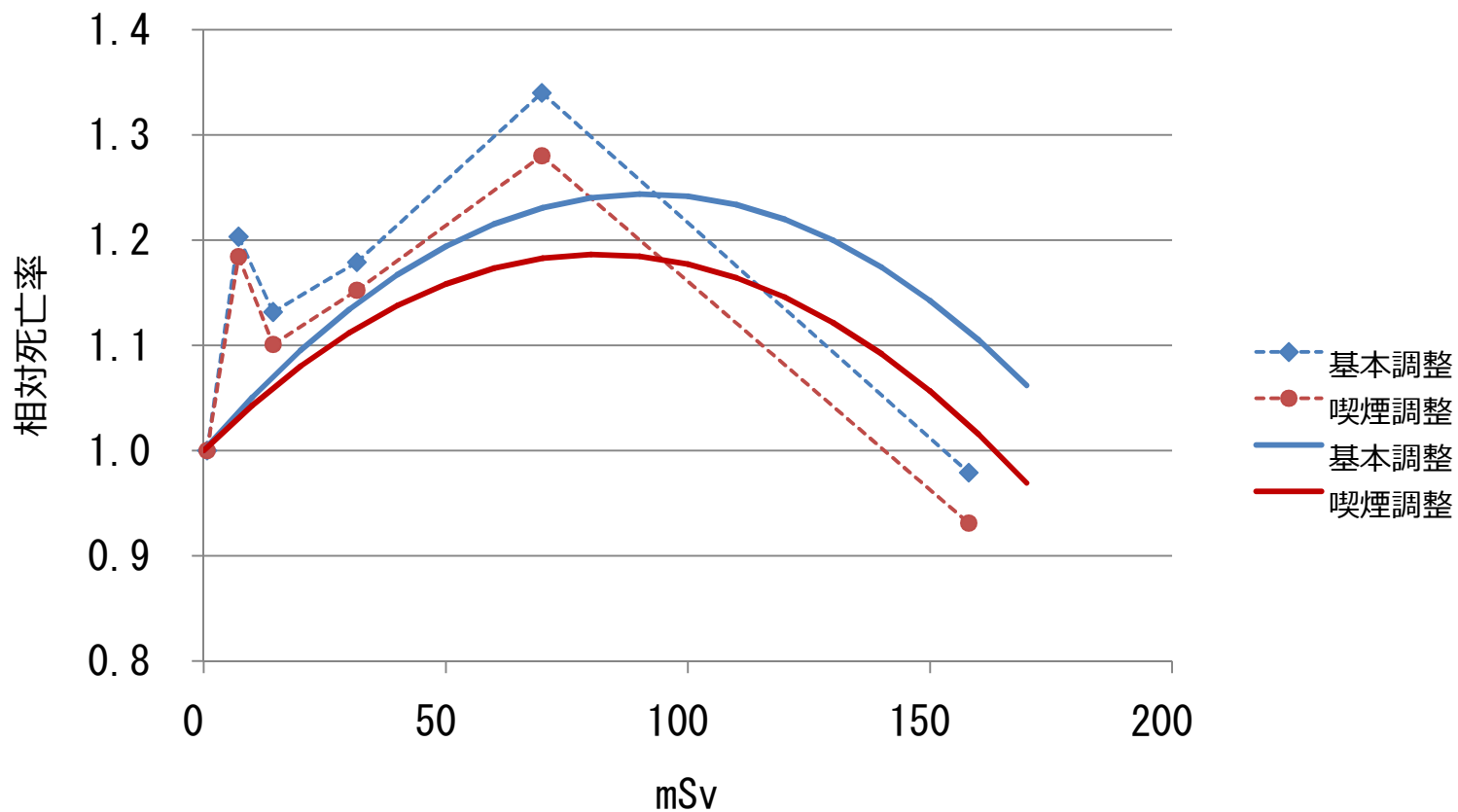
	がん	非がん
喫煙調整なし	273	409
喫煙調整（喫煙寄与より計算）	218	310
喫煙調整（喫煙習慣別に計算）	225	307

観察死亡数

7,929

9,483

回帰2次曲線 (がん*)



超過死亡数による喫煙寄与の推定

超過死亡数	がん	非がん
	喫煙区別なし	115
喫煙習慣別で計算	92	72
喫煙寄与	20%	24%

(参考) 回帰分析による喫煙寄与の推定

dose(mSv)	10	20	50	100
1次式	60%			
2次式	15%	16%	18%	25%

再分析の結論

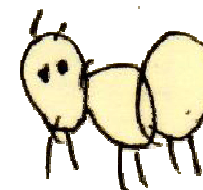
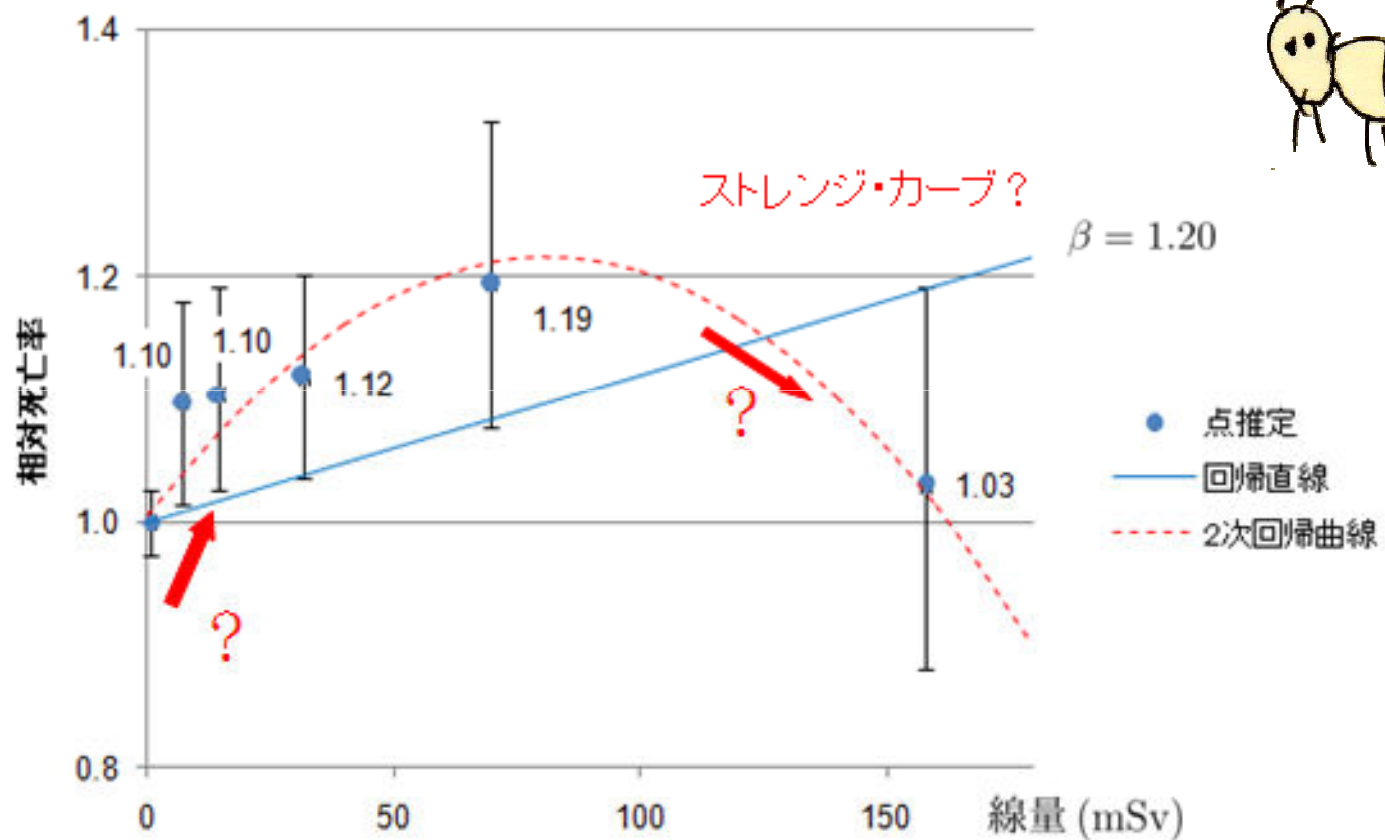
サブ・コホートの分析から喫煙の影響はそれほど大きくないこと(20%程度), 100mSv以下でがん*と非がん疾患による死亡率が被曝線量とともに増加する傾向があることが明らかになった。

また, サブ・コホートの放射線被曝によるがん死亡が約10年で92人に, 非がん疾患では72人になると推定された。

速やかに職業被曝の規制値を下げる措置を講じる必要がある。

コホートの喫煙の影響を除いた20年間の過剰死亡数はがん*で218人に, 非がん疾患で310人になると推定された。

コホート がん*



問題点

- 100mSv以上 住民登録で追跡できなくなった労働者が多いのでは？
- 5mSv前後 雇用形態の影響がでているのでは？
- 事業者の線量測定は正しいのか？

記録 8.6mSv

雰囲気線量からの推定 22-334mSv (2.6-40倍)

関連論文

- Direct adjustment for confounding by smoking reduces radiation-related cancer risk estimates of mortality among male nuclear workers in Japan, 1999–2010, Shin'ichi Kudo et al, J. Radiol. Prot.38 357, 2018
- 「がんリスクは10ミリシーベルトでも有意に増加」, 松崎道幸,日本の科学者 Vol.48,No.1,January 2013