

Malko 講演会の概要とコメント

ベラルーシ科学アカデミー・原子力合同研究所の Malko 氏を 2 月 23 日から 1 週間ほど日本に招待し、熊取（2 月 25 日）と東京（2 月 27 日）で “Assessment of Chernobyl Cancers in Belarus” と題する講演会を開催した。ベラルーシの公的なガン統計データを解析してみたところ、チェルノブイリ事故によってこれまでにベラルーシ全体で約 2 万 5000 件のガンが過剰に認められた、という内容であった。なかなか興味深い話だったので、個人的 discussion に基づく情報も含め、その要点をまとめておく。

1. 用いたガン統計データ

ベラルーシでの Cancer registry は 1950 年代にはじまり、60 年代から本格的にデータが蓄積されている。ベラルーシは、旧ソ連の中で最初にガン登録をはじめた共和国であった。しかし、旧ソ連時代にはデータはあまり公表されず、毎年データが公表されるようになったのは、ソ連崩壊後の 1994 年からである（1983 年以降のデータあり）。それ以前については、Malko 氏はいろいろな公表データを自分で集約して解析に用いた。

・全ガンのデータ

“Malignant Neoplasms in the USSR”, Ministry of Health Care of the USSR, 1990.

“Health Care in the Belarusian SSR”, Public Health Ministry of the BSSR, 1990.

“Malignant Neoplasms in Belarus”, Belarusian Cancer Registry, 1994 ~ .

とは、チェルノブイリ事故以前のデータ（それぞれ、1962 ~ 1980、1962 ~ 1986）。全ガンならびにいくつかのガンについての粗発生率データ。には、各州別のデータがあるものと思われる。どちらにも年齢階級別のデータはなし。

は、1983 年以降のデータで、各州別、年齢階級別（5 歳ごと）のガン発生率。1994 年以降毎年発表されている（ちなみに、94 年版に 83、88、93 の 5 年飛びで 3 年分、95 年版に 84、89、94 の 3 年分、95 年版……と続いているので、結局 1983 年以降のデータあり）。全ガン、ならびに胃ガン、乳ガン、肺ガン、非メラノーマ皮膚ガン、腎臓ガンなど 17 の臓器別に分けられている。白血病は、リンパ腫、骨髄腫などと一緒に「造血系ガン（hemoblastosis）」に括られている（1999 年以降は、白血病の分類ができた）。

・甲状腺ガンデータ

“Malignant Neoplasms in Belarus”, Belarusian Cancer Registry, 1994 ~ .

Demidchik データいろいろ

“Main Indexes of Health State of Inhabitants of Gomel and Mogilev Regions”, Public Health Ministry of the BSSR, 1990.

は、全ガンのところのと同じ。の Demidchik 氏（ベラルーシ国立甲状腺ガンセンター）は、ベラルーシの甲状腺ガン手術の元締めで、菅谷さんがいたところ。いろいろな論文や Proceedings で、データを報告している。彼との private communication データもある。

には、Gomel 州、Mogilev 州およびベラルーシ全体についてのデータが 1976 年から出ている。

・白血病患者データ

”Public Health in the Republic of Belarus”, Public Health Ministry of the Republic Belarus, 1996 ~ .

“Malignant Neoplasms in Belarus”, Belarusian Cancer Registry, 2000 ~ .

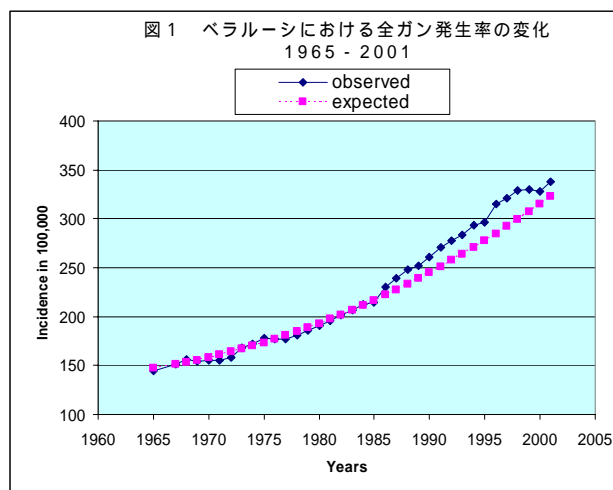
には、1967 年以降のベラルーシ全体、全年齢の白血病患者データがある。 の Cancer register では、1999 年以降、白血病患者としての分類データが発表されるようになった。

2 . 解析手法、解析結果

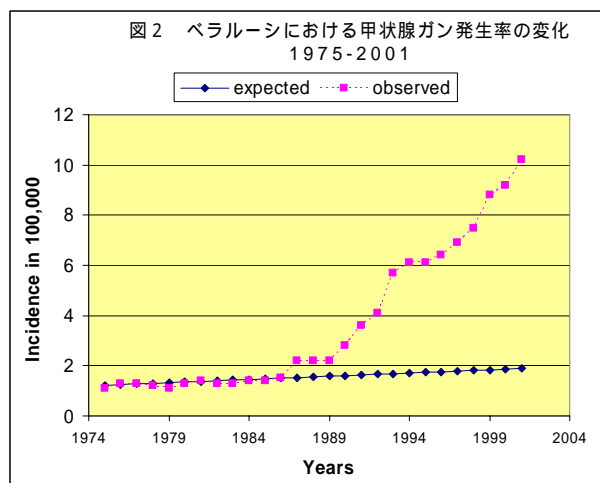
2 - 1 . ステップ A : チェルノブイリ事故前と事故後のガン発生率の比較

◇ 比較方法 1 : 経年比較

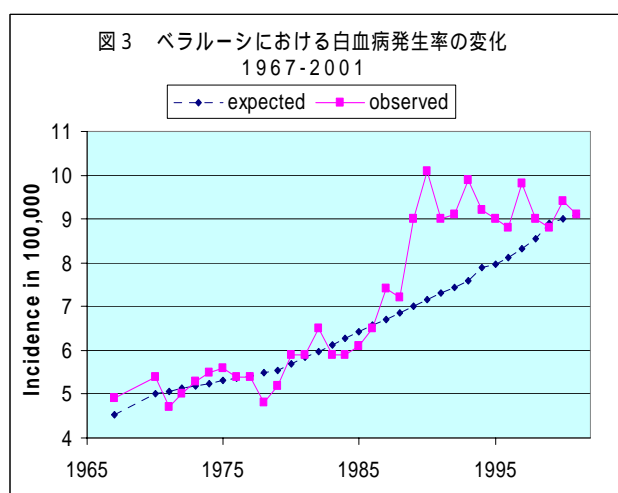
< 図 1 : 全ガン粗発生率 >



< 図 2 : 甲状腺ガン粗発生率 >



< 図 2 : 白血病患者粗発生率 >

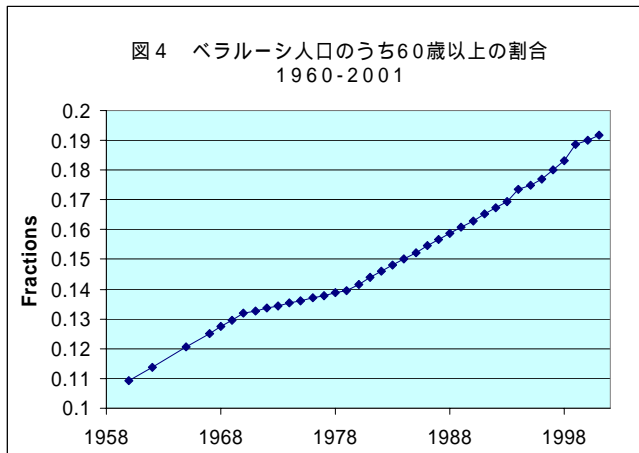


・ 図 1 ~ 図 3 の Observed は観察されたガン発生率で、Expected はチェルノブイリ事故以前 (1985 年まで) の値の最適近似曲線とその外挿値。

・ 全ガン、甲状腺ガン、白血病患者のいずれにおいても、チェルノブイリ事故後に増加している。

◇ 比較方法 2 : 60 歳以上人口割合に基づく解析

・ベラルーシで、チェルノブイリ事故以前よりガン発生率が増加し続けている第 1 の原因は、人口構成が高齢化している（図 4）ためと考えられる。

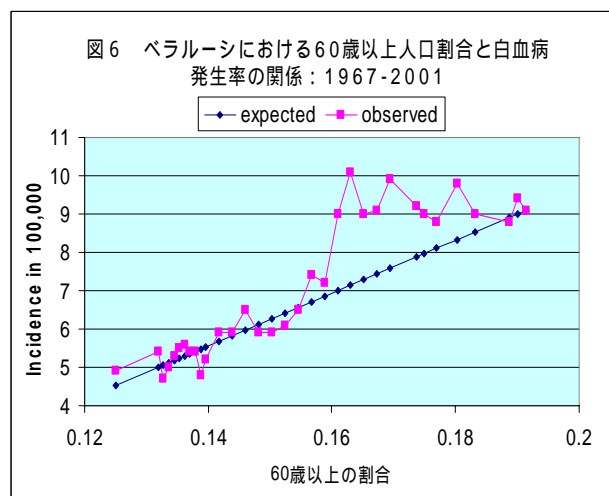
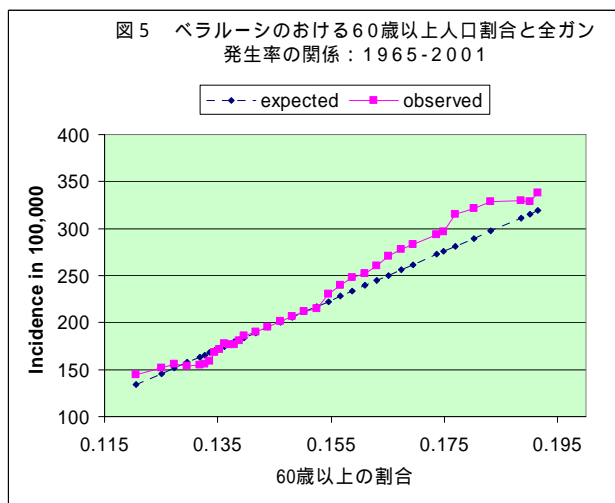


・そこで、（事故前の年齢階級別データが不十分なので）“60 歳以上人口割合”をパラメータとしてガン発生率の増加を調べることにした。

・図 5 と図 6 は、X 軸の値を“60 歳以上人口割合”にとったものである。すると、チェルノブイリ事故以前における増加傾向をうまく直線で表すことができた。

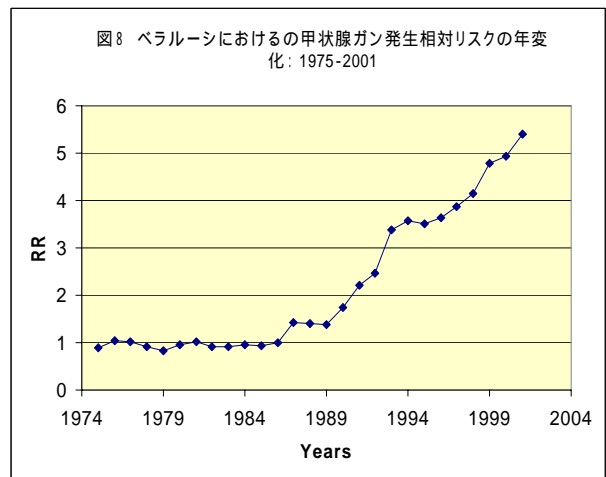
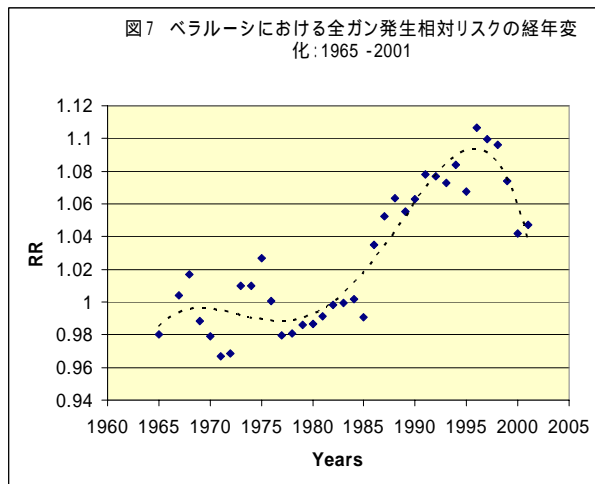
< 図 5 : 全ガン >

< 図 6 : 白血病 >



・チェルノブイリ事故後のガン発生の増加は、老人人口の増加で予測されるもの（Expected）を上まわっている。

・（Observed） / （Expected）の値を、相対リスク（RR : Relative Risk）として、その経年変化をプロットしてみた（図 7 : 全ガン、図 8 : 甲状腺ガン）。



2-2. ステップ B：チェルノブイリ事故以降のガン発生増加と被曝量の関係の検討

チェルノブイリ事故後のガン発生率の増加と放射線被曝との関係を明らかにするため、各州住民の平均被曝量とガン増加の関係を調べてみた。

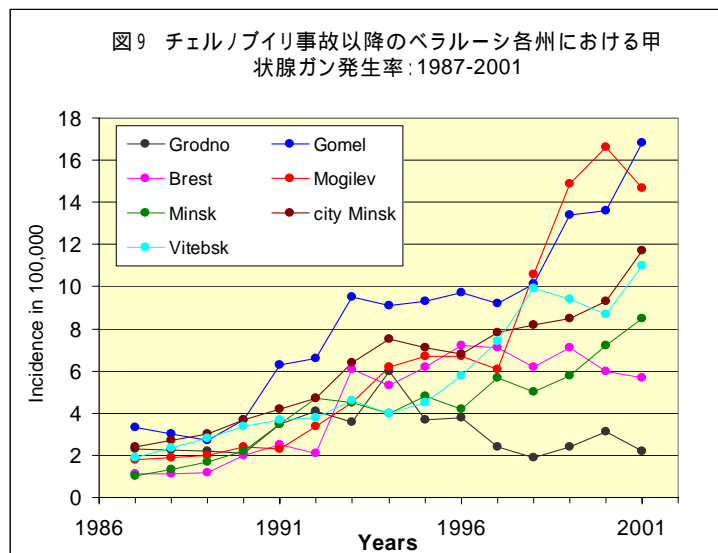
< 甲状腺ガン >

表1 ベラルーシ各州での集団甲状腺線量と平均甲状腺被曝量

州	人口 (万人)	集団甲状腺線量 (10^4 人・グレイ)	平均甲状腺線量 (グレイ)
Brest	140	14.2	0.10
Vitebsk	140	12.7	0.09
Gomel	160	30	0.18
Grodno	120	3.1	0.026
Minsk	160	11.4	0.072
Mogilev	120	17.4	0.14
City Minsk	160	15.5	0.10
ベラルーシ全体	1000	104.4	0.10

注：Gomel 州の集団線量は、Gavrillin らによる文献値(Health Hphys. 1999)。それ以外の州は、Gomel の集団線量を基準として Malko が求めた。

・各州の甲状腺ガン粗発生率の推移 (図9)。Gomel 州と Mogilev 州での増加が大きい。



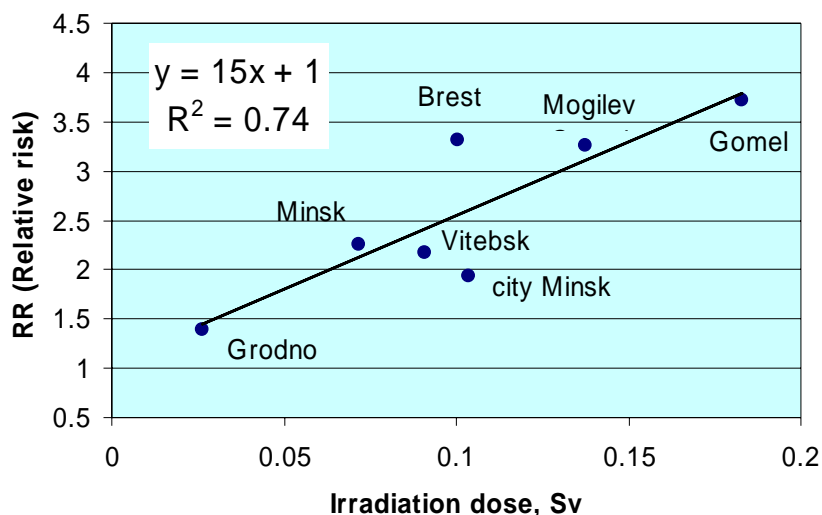
- ・先の外挿モデルを用いて、各州でのチェルノブイリ事故後の甲状腺ガン増加数 (Observed - Expected) を計算し、1987-2001 年積算の相対リスクを求めた。

表2 ベラルーシ各州における過剰な甲状腺ガン発生数と相対リスク (1987~2001)

州	観察数 Observed	期待数 Expected	Observed - Expected	相対リスク RR(O/E)
Brest	1,001	302	699	3.3
Vitebsk	1,163	537	626	2.2
Gomel	2,016	542	1,474	3.7
Grodno	543	392	151	1.4
Minsk	1,000	442	558	2.3
Mogilev	1,235	379	856	3.3
city Minsk	1,586	822	764	1.9
ベラルーシ全体	8,644	3,416	5,128	2.5

- ・表1の平均甲状腺被曝量と表2の甲状腺ガン相対リスクの関係をプロットしたのが図10である。

図10 ベラルーシ各州の平均甲状腺被曝量と甲状腺ガン相対リスク: 1987-2001



- ・甲状腺被曝量と相対リスクの間にはよい相関性が認められる。被曝量ゼロのときには $RR=1$ となることから、チェルノブイリ事故後にベラルーシで認められた甲状腺ガンの増加は事故にともなう甲状腺被曝に由来すると結論できる。
- ・すなわち、チェルノブイリ事故によりベラルーシでは 1987~2001 年の間に約 5100 件の甲状腺ガンが発生したものと評価される。

< その他のガン >

表3 ベラルーシ各州住民の平均全身被曝量（1986～2001年積算、単位：ミリシーベルト）

州	被曝の原因			
	放射能汚染 ¹	避難・移住による持ち込み ²	事故処理作業 ³	合計
Brest	1.224	0	0.300	1.524
Vitebsk	0.006	0.184	0.337	0.527
Gomel	13.080	-1.760	0	11.320
Grodno	0.348	0.286	0.319	0.953
Minsk	0.330	1.031	1.926	3.287
Mogilev	6.674	0	0	6.674
City Minsk	0.357	0.357	0.792	1.507
全国	3.767			3.767

注1：放射能汚染にともなう住民の外部被曝と内部被曝。Malko 独自の評価。

注2：Gomel 州からの避難・移住者の流入による平均被曝量の増加（Gomel 州はマイナス）。

注3：チェルノブイリ 30km 圏内で働いた事故処理作業による平均被曝量の増加。

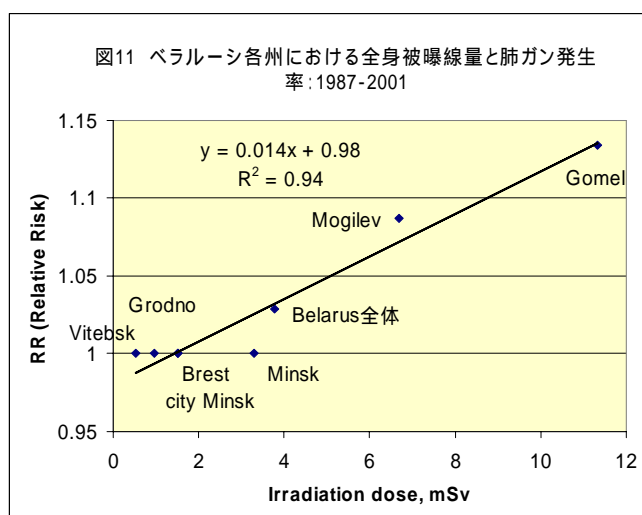
・避難・移住者の数、事故処理作業者の数に関するデータは、"Belarus and Chernobyl: The Second Decade", Ministry of Emergencies of Belarus, 1999 より。

・甲状腺ガンの場合と同様の手法を用いて（被曝量は表3の右端）その他のガンについて解析を行った。肺ガン、胃ガン、乳ガンについての結果を示す。

< 肺ガン >

表4 ベラルーシ各州における肺ガン観察数・期待数と相対リスク（1987～2001）

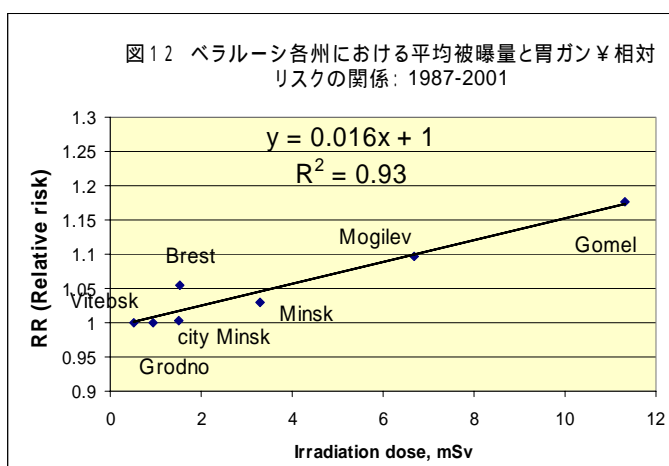
州	平均全身被曝量、mSv	観察数 Observed	期待数 Expected	Observed- expected	相対リスク RR(O/E)
Brest	1.524	8,150	8,150	0	1
Vitebsk	0.527	9,863	9,863	0	1
Gomel	11.320	9,418	8,302	1,116	1.13
Grodno	0.953	7,861	7,861	0	1
Minsk	3.287	11,532	11,532	0	1
Mogilev	6.674	8,518	7,835	683	1.09
city Minsk	1.507	8,126	8,126	0	1
ベラルーシ全体	3.767	63,409	61,632	1,777	1.03



<胃ガン>

表5 ベラルーシ各州における胃ガン観察数・期待数と相対リスク(1987~2001)

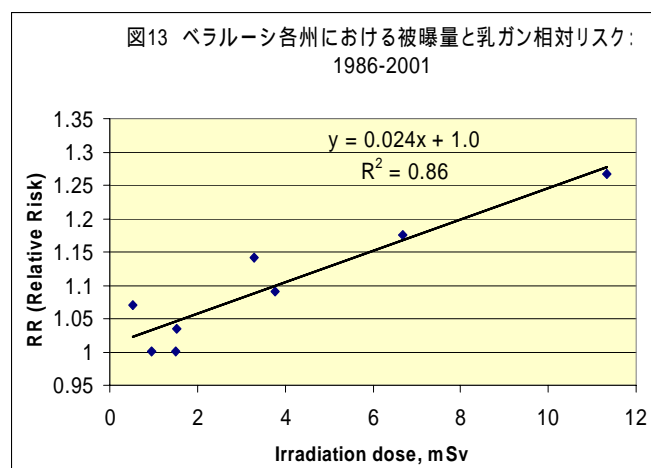
州	平均全身被曝量、mSv	観察数 Observed	期待数 Expected	Observed- expected	相対リスク RR(O/E)
Brest	1.524	7,375	6,977	378	1.05
Vitebsk	0.527	9,268	9,268	0	1
Gomel	11.320	9,629	8,185	1444	1.18
Grodno	0.953	6,439	6,439	0	1
Minsk	3.287	10,209	9,914	295	1.03
Mogilev	6.674	8,174	7,453	721	1.10
city Minsk	1.507	7,680	7,657	23	1.00
ベラルーシ全体	3.767	58,774	55,913	2861	1.05



<乳ガン>

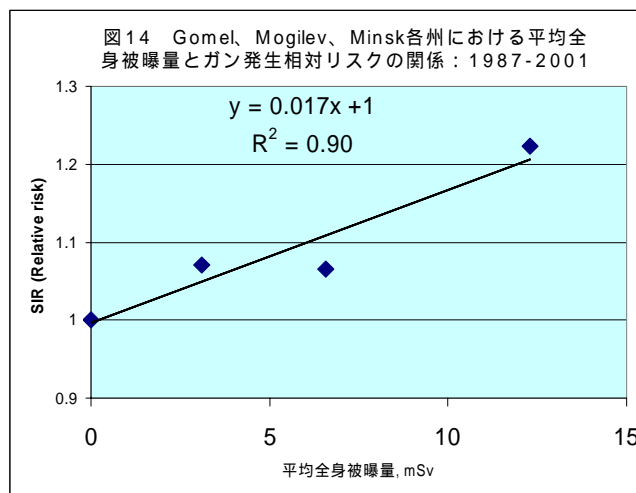
表6 ベラルーシ各州における乳ガン観察数・期待数と相対リスク(1987~2001)

州	平均全身被曝量、mSv	観察数 Observed	期待数 Expected	Observed- expected	相対リスク RR(O/E)
Brest	1.524	4,549	4,397	152	1.04
Vitebsk	0.527	5,244	4,901	343	1.07
Gomel	11.320	5,644	4,456	1,188	1.27
Grodno	0.953	3,862	3,862	0	1
Minsk	3.287	5,173	4,530	643	1.14
Mogilev	6.674	4,267	3,630	637	1.18
city Minsk	1.507	7,239	7,239	0	1
ベラルーシ全体	3.767	35,978	33,015	2,963	1.09



<全ガン>

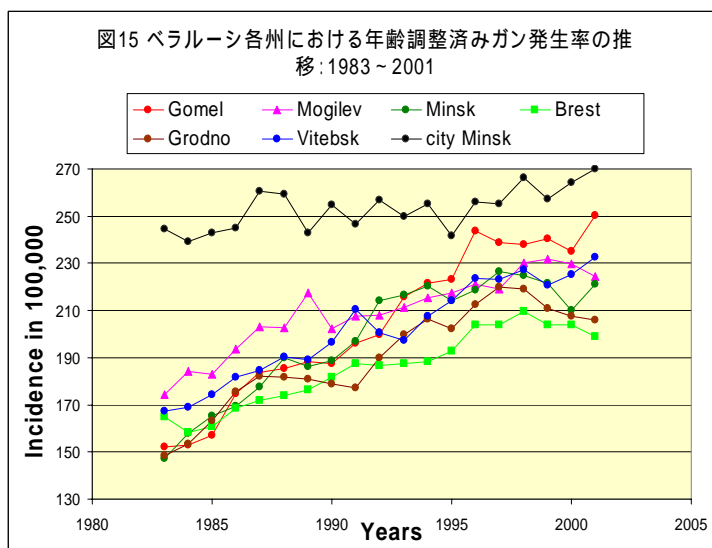
図 14 : Gomel、Mogilev、Minsk 州における平均被曝量と全ガン相対リスクの関係



<参考データ>

図 15 : ベラルーシ各州における年齢調整済みの全ガン発生率

・年齢調整には WHO の世界標準年齢構成を用いた。
 (ミンスク市と Vitebsk 州のデータは講演会では示されなかったが、Malko が残っていたファイルの中にあっただので、今中が追加した。)



3 . 結論

- ・チェルノブイリ事故後、ベラルーシにおいてさまざまなガン（甲状腺、胃、肺、女性乳腺など）および白血病の増加したことが明らかとなった。
- ・ガンの増加は、チェルノブイリ事故によって他の州より大きな汚染を受けたゴメリ州とモギリョフ州でより顕著であった。
- ・甲状腺ガン、胃ガン、肺ガン、乳ガン、非メラノーマ皮膚ガンについては被曝量と相対リスクの間に実質的な直線関係が確認された。このことは、ベラルーシでのガンの増加は放射線被曝に起因することを示している。
- ・チェルノブイリ事故によりこれまでにベラルーシにおいて約 2 万 5000 件の過剰なガン発生が認められた。そのうち、甲状腺ガン 5100 件、腎臓ガン 3000 件、胃ガン 2800 件、女性乳ガン 3000 件、肺ガン 1800 件、白血病 1800 件、皮膚ガン 2300 件であった。
- ・チェルノブイリに起因するガンの特徴は、潜伏期が認められないことと、非常に大きな被曝リスク係数である。(今中注：たとえば、図 11 の解析結果に基づく、fitting 直線の傾きは 1 mSv 当り 0.014、つまり 1 Sv 当り 14 の相対リスク過剰となる。広島・長崎データの場合の肺ガン死相対リスク過剰は 1 Sv 当り 0.5 程度なので、Malko の値は約 30 倍大きい。)

3. 今中コメント

・データ集めや解析方法について Malko がいろいろ苦労し独自の評価をしていることが分かったが、同時にいろいろな欠点も明らかになった。

➤ その1：甲状腺被曝量と甲状腺ガン相対リスク解析の問題点

・表1の平均甲状腺被曝量の求め方について Malko に尋ねたところ、いろいろな式を展開して説明してくれたが結局次の説明に行き着いた。

汚染の最も強かった Gomel 州については集団甲状腺被曝量について信頼できる値が得られている。その他の州については、Gomel 州の被曝量を基準にとって、観察された過剰甲状腺ガン数 (Observed - Expected) の比を用いて集団甲状腺被曝量を求め、平均甲状腺被曝量を評価した。

$$(i\text{州の集団甲状腺被曝量}) = \frac{(i\text{州の過剰甲状腺ガン数})}{(\text{Gomel州の過剰甲状腺ガン数})} \times (\text{Gomel州の集団甲状腺被曝量})$$

$$(i\text{州の平均甲状腺被曝量}) = \frac{(i\text{州の集団甲状腺被曝量})}{(i\text{州の人口})}$$

つまり、図10にプロットされている「平均甲状腺被曝量と甲状腺ガン相対リスクの関係」は「(過剰ガン数 / 人口) と甲状腺ガン相対リスク (= ガン観察数 / ガン期待数) の関係」にほかならず、甲状腺被曝量と甲状腺ガンリスクの関係を示すものとは認めがたい。

話が少々ややこしいので表7を作ってみた。Gomel 州以外の各州の平均甲状腺被曝量が、観察数、期待数、人口によって決まっていることが分かる。

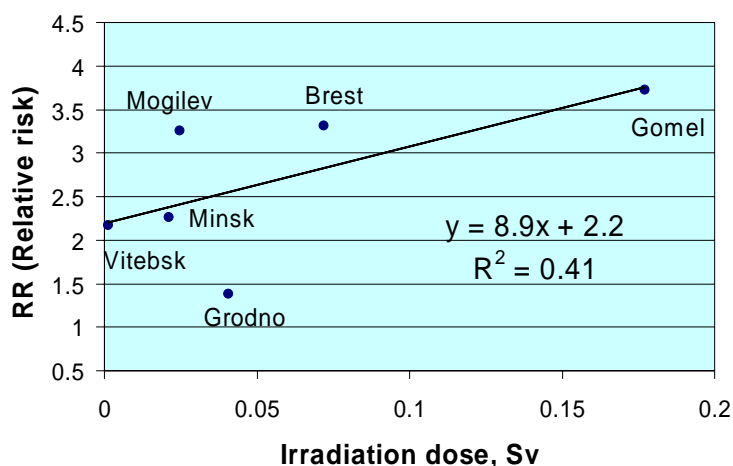
表7 ベラルーシ各州での集団甲状腺線量と平均甲状腺被曝量

州	Malko の値		今中の比較計算			
	平均甲状腺線量 (グレイ)	Gomel との比	過剰ガン数 (表1)	人口 (万人)	過剰数 /人口	Gomel との比
Brest	0.10	0.55	699	140	4.99	0.54
Vitebsk	0.09	0.50	626	140	4.47	0.49
Gomel	0.18	1	1,474	160	9.21	1
Grodno	0.026	0.14	151	120	1.26	0.14
Minsk	0.072	0.39	558	160	3.49	0.38
Mogilev	0.14	0.75	856	120	7.13	0.77
City Minsk	0.10	0.57	764	160	4.78	0.52

・図16は、平均甲状腺被曝量を UNSCER2000 レポート (Annex-J Table40) から求めて、Malko による甲状腺ガン相対リスクとの関係をプロットしたものである。

・図10ほどクリアではないが、一応甲状腺線量とともに相対リスクが増加する傾向がありそうだ (統計的検定の必要あり)。

図16 ベラルーシ各州の平均甲状腺被曝量と甲状腺ガン相対リスク：1987-2001



➤ その2：その他のガンに関する解析の問題点

- i . 被曝線量評価：表3の平均全身線量の評価に、避難・移住者の移動分や、事故処理作業分を見込んでいるのは面白い。ただし、それらをどのように算出したかの詳細は不明。Gomel と Mogilev の事故処理作業分がゼロになっているのはどういうことであろうか。とりあえず、表3の評価は reasonable とみなしておく。
- ii . 表4～表6の $RR = 1$ (Observed = Expected) データ：Observed と Expected に同じ数が入っている州がある。熊取で見て、何やらナンセンスなので東京講演ではRR値を空欄にもらった。後で考えてみると、これらの州については (Observed < Expected、つまり $RR < 1$) だったので、Expected に Observed の値を入れたものと思われる。図11(肺ガン)、図12(胃ガン)、図13(乳ガン)のプロットで認められる $RR=1$ のポイントは、本来 $RR < 1$ のデータであったと思われる。
- iii . 不思議なプロット点：図11と図13では、各州のポイント7点とともにベラルーシ全体のポイントが入っている(図12にはない)。不思議なのは、図14の全ガン解析である。Gomel、Mogilev、Minsk の3州しかポイントが入っていないのは、全部の州のデータを入れる時間がなかったからだとは本人は弁解(?)していた。さらに不思議なのは、ゼロ線量で $RR = 1$ の点である。被曝量ゼロに該当する州はなく、fitting 直線をむりやり(0,1)点近くに通すために追加したとしか考えられない。

i の被曝量評価はともかく、ii と iii については「統計的センスが悪い」と言われても仕方がないであろう。図11～図13では、恣意的に $RR=1$ にせずとも、相関関係が認められそうなのに残念である。

➤ まとめ

- ・Malko データは、チェルノブイリ事故以降にベラルーシでさまざまなガンが増加していることを明確に示している。
- ・しかし、「(被曝量ゼロで相対リスクが1となる)線量・効果関係が認められるので、それらの増加はすべてチェルノブイリ事故による被曝が原因である」というMalkoの評価については、線量・効果関係の解析方法に問題があるので留保せざるを得ない。
- ・甲状腺被曝量については、別の評価が必要である。全身被曝量については、避難・移住による持ち込み被曝量、事故処理作業員の被曝量について詳細に確認する必要がある。
- ・線量-効果関係の解析については、“恣意的なもの”を感じさせるので、もう少し洗練される必要がある。
- ・Malko は“Qualitative Analysis”であることを強調していたが、むしろ“Preliminary Analysis”であり、今後の改善を期待したい。

ということで、「面白かったMalko講演」の中味を突っ込んでみると、アラ探しようになってしまいました。アラが見えた今でも、「Malko 評価は面白い」と思っています。独自にデータ集めをやり独自に解析しようとする姿勢は高く評価されるべきでしょう。

私が見つけたアラについては、滞在中にも伝えてありますが、改めて文章にまとめてMalkoに知らせてやるつもりです。私の方で気が付かないことなどありましたらご指摘頂ければ幸いです。

以上