

3.2.2 小児期に時事故に遭い、避難した人々の健康状態

小児期と思春期の身体は、機能的にも形態学的にも成人として識別しうる大人と比べて、負の外的な要素に対してより感受性が高いことが知られている。

子どもおよび思春期の人々であってチェルノブイリ 30km ゾーンから避難した男性と女性の（基本的な病気を）発症する絶対リスクの評価によると、1993～2007年の間で、最高の絶対リスクを示した病気は、神経系、消化器系、循環器系の疾患であった。

感覚器官と神経系の病気の中でもっとも一般的であったのは、網膜の血管障害であった。網膜の血管障害を含む一般的な血管障害の疾患数は、何かの合併症ではないが、病態が進む際の一体化した一部であり、その他の兆候が現れる前に識別することができる。

網膜血管障害の有病率と相対リスクは、現在はキエフに住んでいるプリピャチ市（訳者注：チェルノブイリ原発に最も近かった原発労働者の街）からの避難者 3,773 人のコホートからのグループが 1992～1998年に包括的に調査され、分析された。

グループは、事故時の年齢によって次のように分けられた：第一小児期（4～7歳）、第二小児期（女兒 8～11歳、男児 8～12歳）、思春期（女兒 12～15歳、男児 13～16歳）、ティーンエイジャー（女性 16～20歳、男性 17～21歳）。“思春期”と“ティーンエイジャー”グループは小児期に被曝した人々の中の内部コントロール群であり、それぞれお互いのグループについても比較された。さらに、4グループの避難者のすべてについて血管障害の相対リスクが、放射線に被曝したことのない 105 人のコントロール群の調査データと比較された。

4グループすべての研究により、網膜の血管障害の有病率が明らかになった。1000人あたり、4～7歳で被曝したグループは、258.62、8～12歳は 320.79、11～16歳では 262.22、17～21歳では 267.39であった。習慣的な標準とは異なり、8～12歳で被曝したグループの血管障害の有病率が最大であり、より年齢の高いグループではなかった。

コントロール群と比べて被曝した人々の各グループの相対リスク（RR）は、8～12歳で被曝したグループがやはり高く、2.60（1.54, 4.37） $\chi^2=16.89$ で p 値は 0.00004 であった。一方 4～7歳のグループでは 2.09（1.06, 4.13） $\chi^2=4.64$ 、 $p=0.0312$ であった。その他の2つのグループの被曝した子どもたちでの相対リスクを比較すると、思春期での被曝グループと比べて 8～12歳の被曝グループの相対リスクは 1.22、信頼区間 1.03；1.45、 $\chi^2=5.25$ 、 $p=0.0219$ であり、その差は有意であった。小児期に被曝したすべてのグループを“ティーンエイジャー”グループと比較すると、相対リスクは同じく有意に高かった（RR=1.2、信頼区間 1.01；1.42、 $\chi^2=4.47$ 、 $p=0.03439$ ）。

このように、小児期の被曝、とりわけ 8～12歳の年齢での被曝は、網膜の血管障害のリスクが高かった。

年月が経過してからの、非がん（がん以外）の病気の相対リスクの調査は、チェルノブイリ原発 30km ゾーンからの避難時の年齢別に、男性と女性別々に解析された。（表 3.28）

小児期に避難した女性では、思春期に避難した女性と比べ、分類では皮膚と皮下組織の病気の発病率のリスクが有意に高かった。逆に、小児期に避難した人と比べ、ティーンエイジャーで避難した女性は、精神疾患、神経系と感覚器官、呼吸器、消化器系の病気、泌尿生殖器の病気のリスクが高かった。

同様に、小児期に避難した男性では、（思春期に避難した男性と比べ、）循環器系の病気皮膚と皮下組

織の病気のリスクが有意に高かった。ティーンエイジャーで避難した男性は、小児期に避難した人と比べ、神経系と感覚器官、消化器と泌尿器の病気のリスクが有意に高かった。

表 3.28 チェルノブイリ原発 30km ゾーンから、小児期に避難した人々に対する、思春期避難者の非がん疾患の発病率の相対リスク (RR) (1993-2007 年の調査データ) (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

病気の分類、グループ、疾病 分類学的形態	ICD-9 コード	男性		女性	
		相対リスク	信頼区間	相対リスク	信頼区間
内分泌系の病気	240-279	1.08	0.80; 1.47	1.20	0.99; 1.45
精神障害	290-319	0.95	0.64; 1.41	1.49	1.10; 2.03
神経系と感覚器官の病気	320-389	1.56	1.39; 1.75	1.46	1.31; 1.61
循環器系の病気	390-459	0.78	0.67; 0.92	1.04	0.92; 1.17
呼吸器の病気	460-519	1.09	0.85; 1.40	1.42	1.12; 1.81
消化器の病気	520-579	1.38	1.23; 1.55	1.70	1.52; 1.91
泌尿生殖器の病気	580-629	2.06	1.45; 2.93	2.42	1.97; 2.96
皮膚と皮下組織の病気	680-709	0.62	0.49; 0.80	0.71	0.57; 0.88
筋骨系と結合組織の病気	710-739	1.32	0.87; 2.00	1.20	0.90; 1.59

このように、チェルノブイリ事故に遭ったグループにおける電離放射線の影響は、被曝時の年齢というファクターによって有意に変化し、長期の病理学的条件の発病率と有病率のデータ解析に基づくと、もっとも危険な年齢区分は小児早期 (訳者注: 本事例では 4 - 7 歳を指す) ではなく、8-12 歳および思春期 (12-15, 16 歳) ということが証明された。

3.2.3 チェルノブイリ惨事の被害を受けた様々な子どもたちの集団における健康影響

チェルノブイリ惨事の医学的結果は、チェルノブイリ原発 30km ゾーンから避難した子ども、汚染地域居住の子ども、出生前に被曝した子ども、被曝した両親から生まれた子どもという、さまざまなコホートで研究されてきた。事故後の期間に5万人以上の子どもたちが放射線医学研究センターによって観察された。

放射性ヨウ素ならびにチェルノブイリ事故によるその他の好ましくないファクターに曝露した子どもたちの健康状態の変化

チェルノブイリ事故の早期段階（1986.04.26～1986.09.01）の初期の日々にチェルノブイリ原発の立ち入り禁止地域から避難した子どもたちは、口中に金属味がするという喉の感覚による刺激（55.7%）、頻発な空咳（31.1%）、疲労（50.1%）、頭痛（39.3%）、めまい感（27.8%）、睡眠障害（18.0%）、失神（9.8%）吐き気と嘔吐（8.0%）、排便障害（6.9%）を訴えた。子どもたちの31.0%には呼吸器の疾患が検出され、32.2%にはリンパ組織の過形成、18.0%には循環器系の機能障害、9.4%は消化器官、9.8%は肝臓肥大、3.2%は脾臓、34.2%はヘモグラム（訳者注：詳細な血球検査所見）に量的な変化が、そして92.2%にはヘモグラムに質的な変化が検出された。

初期のころ（1986－1991年）、その他の器官と組織の機能的障害が、もっとも典型的であった。30kmゾーンから避難した子どもたち、そして汚染地域に居住する子どもたちは、まったく一方向性であった。彼らの70.3%は自律性脈管系の機能障害の兆候が見られた。40.0%は心臓の機能的変化、53.5%は非呼吸性の肺換気と肺機能の侵害、82.4%は消化器系の機能障害がみられた。それらは、体内のフリーラジカルプロセスの増強、T細胞免疫の穏やかな抑制、血中イミノグロブリン異常という背景のもとで進展してきた。慢性疾患の登録は稀であった。多くの子どもは甲状腺、免疫、呼吸器、消化器の疾患が進行するリスクにあることがわかり、これは1989年－1990年に具体的となった（図3.25）。

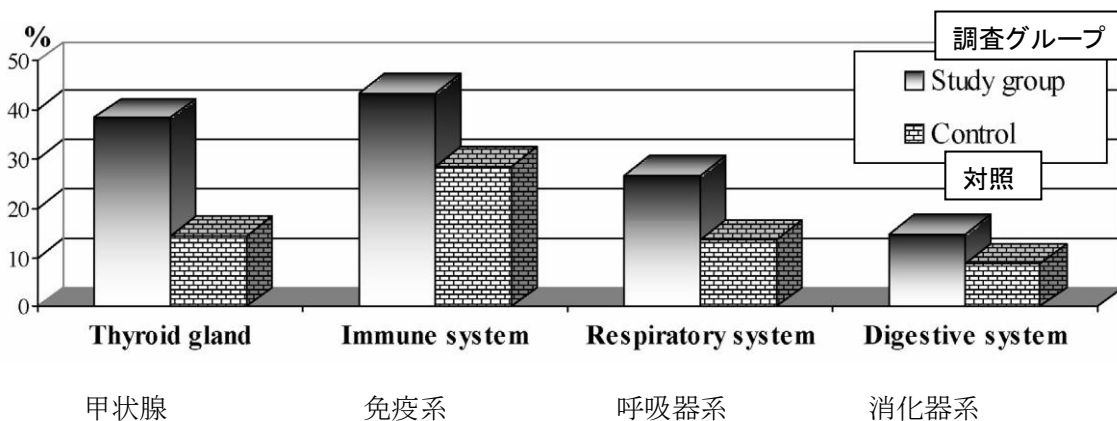


図 3.25 最も被曝した器官と系統別の、病気に進展するリスクのある子どもの%
（“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ）

次の5年（1992－1996年）は、慢性の身体的病気における機能障害への移行ということによって特徴づけられた。30kmゾーンから避難した子どもと汚染地域にすむ子どもの両方で、健康な子どもの数が減少し、慢性的な病気の子どもの数が増加した。健康のレベルの最も低い子どもは、甲状腺の被曝量が2.0

Gy(グレイ)を超えていた。(図 3.26)

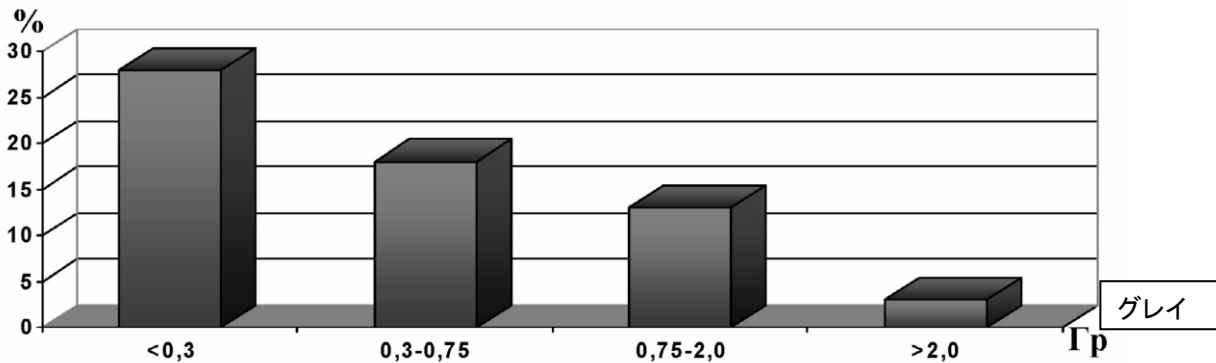


図 3.26 甲状腺被曝量の違いによる健康な子どもたちの数 (%)
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

1997-2001年には、チェルノブイリ原発 30km ゾーンから避難した子どもと汚染地域にすむ子どもの両方で、健康な子どもの減少というはっきりした傾向が観察された。2001年における子どもの健康度による分布は以下のとおりである：30km ゾーンから避難した子どもでIグループ(訳者注：健康)の子どもは一人もいなかった。IIグループ(慢性疾患へのリスクグループ)は23.4%、IIIグループ(慢性疾患がある)は63.9%、IVグループ(重篤な疾患がある)は12.7%であった。汚染地域の子どものうちでは、Iグループの子どもは6.3%、IIグループは26.1%、IIIグループは57.5%、IVグループは10.1%と判定された。

ナロジチ地区の子どもの集団では、2.6人・シーベルト(サブグループ1)と9.4人・シーベルト(サブグループ2)の集団線量にしたがって二つのサブグループ(各600人)に分けられた。9.4人・シーベルトのサブグループ2の子どもの場合は、呼吸器系疾患(2.0倍)、自律神経系の機能障害(1.52倍)、肝臓組織の線維症(2.3倍)、そして血液系疾患(2.5倍)が有意に高かった。放射線量に依存して、染色体不安定が現れた。(図 3.27)

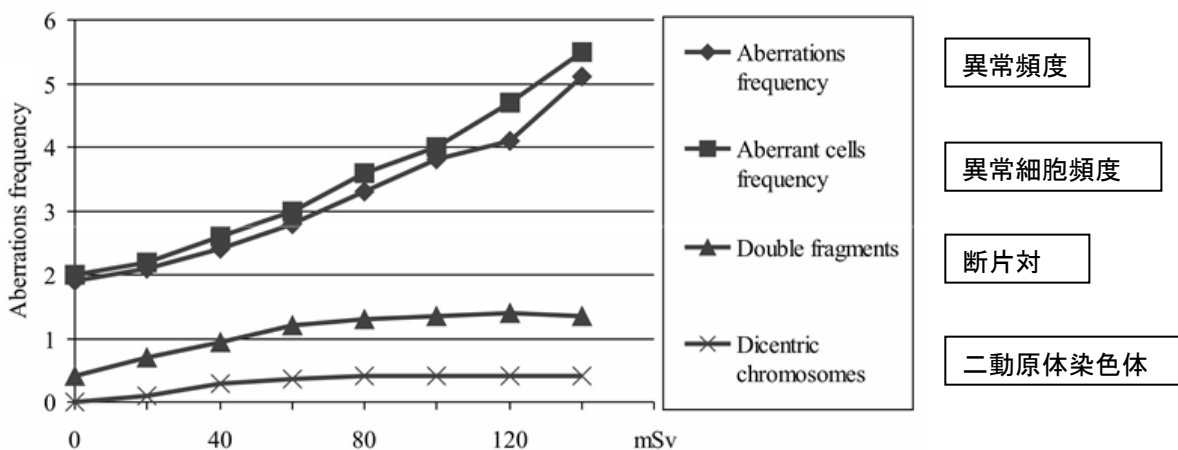


図 3.27 放射線被曝量による、末梢血リンパ球内の染色体異常頻度の相関
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

次のような身体的病気の特異性が見出された：発症の若年齢化、多系統・複数の器官にわたる病変、治療に対して比較的抵抗性があり、経過が長引き再発する。これらの集団は小児期全体を通して、低い健康レベルが続いている。17-18歳の時、チェルノブイリ 30km ゾーンからの避難者の76.6%、汚染地住民の66.7%に慢性的な身体疾患が現れ、病理学的な変化の指数は5.7に達した。

このように、放射性ヨウ素とチェルノブイリ惨事による放射線以外の好ましくないファクターを受けた子どもたちは、多くの慢性的疾患という負荷を負いながら生殖年齢に達し、それが彼らの子孫の健康に影響を与えざるをえない。

プリピャチ市とチェルノブイリ原発 30km ゾーンから子ども時代に避難した人を親として生まれた子どもたち（Iグループ）、および放射能汚染第2ゾーン、第3ゾーンの住民で子ども時代に事故に遭った人々から生まれて汚染地域に住んでいた、あるいは現在も汚染地域に住んでいる子ども（IIグループ）の健康に関する評価によれば、実際、彼らの中に健康な子どもの数は10%を超えず、病理学的変化の指数は5.39に達した。

健康状態の主な基準である身体的発達、62.40-62.58%の子どもで不調和であった。Iグループでの調和のとれた身体発達の傷害頻度は、成長に対してのボディマス不足の子どもが多いことで増加し、IIグループではそれに加えて成長不足の子どもが増加したことによって増加していた。ほとんど四分の一の（24.6%）子ども-汚染地域住民が、身体的発達の不調和とともに、パスポート年齢に比べて生物学的年齢の遅れがあった。

両方のグループとも、表現型上の特徴としては、複数の形態発生上の異形変動の頻度上昇があり、それらの中で重要な位置は、筋骨系、結合組織、器官の形成異常などの、小さな発達異常（SAD）が占めていた。

これらの子どもたちの免疫状態は、次のような免疫アンバランスの存在として判定された：CD3+56+リンパ球の相対数の減少、免疫調整サブ集団の調整異常、IgAレベルの減少、食細胞の数の減少。

子ども時代に被曝した親から生まれた子どもの慢性的な身体疾患の形成は、好ましくないファクターの複合体によって条件づけられた。それらのうちで優勢のものは、遺伝的な負荷、好ましくない微小社会的環境、母親の無数の医学的・生物学的リスクファクター、幼児期の子どもいくつかの病理学的条件、小児期初期に特定な特徴などである。母親の甲状腺被曝線量、母親と／あるいは父親の全身被曝線量と、彼らの子どもの免疫不足状態の進展は、相関の可能性はある。

1986、1996、2009年の動的な観察において、事故後初期にプリピャチ市と30kmゾーンからの避難した子ども、もっとも汚染されたキエフ州ジトーミル地区とチェルニゴフ地区に住む子どもたちの造血系の赤血球、白血球、血小板の調査の際、血球数の量的変化（リンパ球増加症、単球増加症、好酸球増加症）のある人数の増加はなかった。しかしながら、事故後最近の10年間には、異常な細胞の数の増加と変性という形での、造血系要素の質的な変化のある子どもの比率が40%から69%に増えた。

欠乏性貧血の子ども数は増加した：1996年にはそうした子ども数は25%に達していたが、2003年には31%、2009年には46.5%に達した。さらに、欠乏性貧血の子どもで年齢の高いものは、全体的な地域の汚染-空気、水、及び土壌-の程度に依存して赤血球の数が減少した。（図3.28）

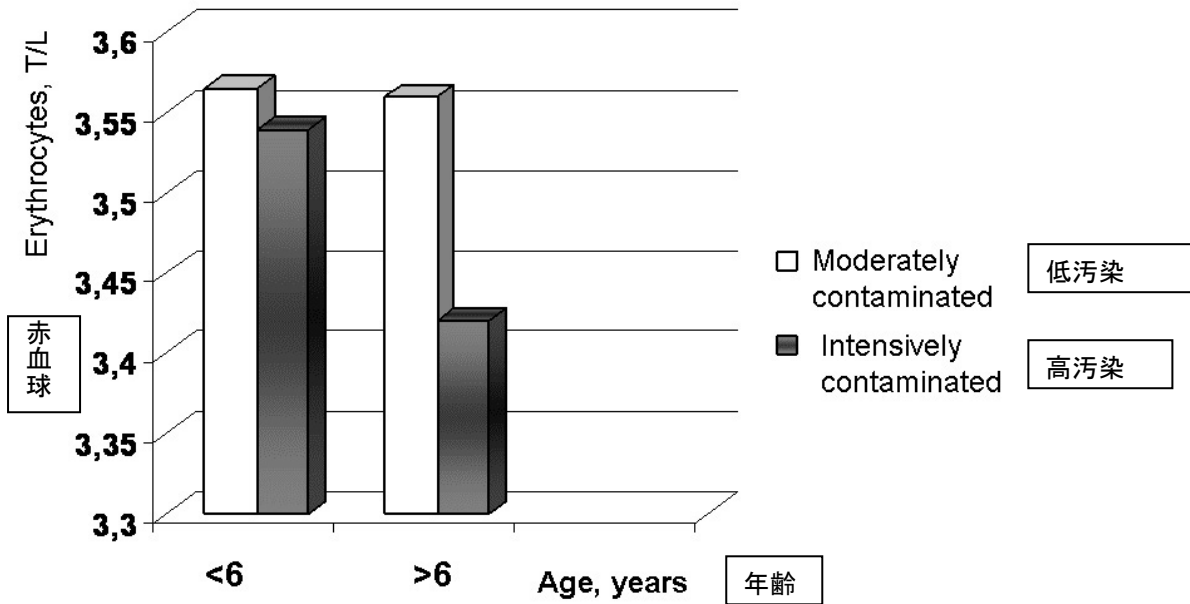


図 3.28 全体的な環境汚染を考慮に入れた、全年齢の欠乏性貧血の子どもの赤血球の数
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

生態学的に好ましくない地域に住んでいる子どもの血球中の単球数の増加も確認された。

過去5年間、血清中の鉄の含有量の高い子どもの数が、2.0%から6.4%に増えており、これは、骨髓異形成症候群のリスクグループとしてこれらの子どもたちの変動を観察する必要性を示している。

明らかになった変化は、代謝障害（脂質、炭水化物、たんぱく質、ミネラル）を導き、造血系の機能を変化させることに寄与する、微量元素のアンバランス、重金属毒性、持続的な低線量電離放射線への被曝、小児科年齢集団の貧弱な栄養状態によるものであるかもしれない。

ウクライナの公衆衛生省のデータによれば、調査グループ1-3の両親から生まれた子どもは494,200人である。毎年、このコホートで、血液と血液形成器官の病気が27-29%で診断されており、それらの18-22%は鉄欠乏性貧血である。事故後の期間の変動の観察では20-30例の白血病とリンパ腫が毎年登録されており、これは一般にウクライナ全体の集団的データ（10万人の子どもにつき5.2-5.4%）と一致している。

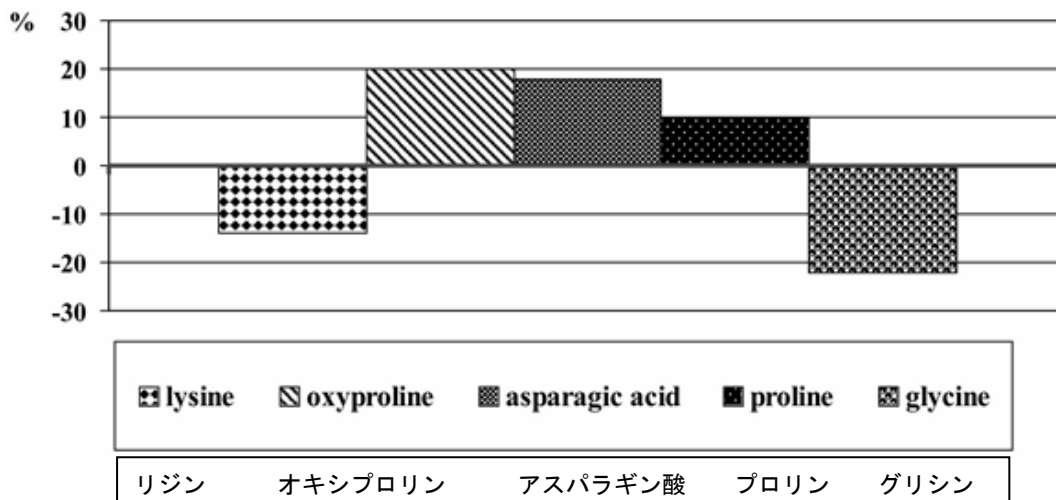


図 3.29 標準的な急性白血病患者の骨中コラーゲンアミノ酸の相対的な偏差
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

ウクライナ、キエフ州ジトーミル地区とチェルニゴフ地区の汚染地域に住んでいる子どもの白血病発症率の解析によると、事故後の期間で、急性骨髄性とリンパ性の白血病の頻度に差はなく、事故の前と後での慢性骨髄性白血病のバージョンの違いはなく、一般にウクライナのレベルと比べても差はない。しかし、2003 年以降、1 歳および 12 歳以上の年齢で病気になる子どもの数が増加していることは注意すべきである。

その年齢グループの白血病の子どもは、骨構造の形成に障害があり、特に線維芽細胞形成の初期段階から始まるミネラルと有機物の構成要素、コラーゲン合成調整（オステオカルシンの減少）とその構造における変化が確立されている。患者の尿中のオキシプロリン、プロリン、およびアスパラギン酸が増加し、一方グリシンとリジンは減少しており（図 3.29）、発がんメカニズムの必須の部分としての、コラーゲンの非統合性とその形成過程のための可塑的物質の欠如を示している。

急性白血病の子どもは 32% では内分泌系の変化があり、病気の好ましくない進展を伴うことが観察された。腫瘍血液性の病気のリスクグループ形成の基準は、電離放射線に被曝した人々の調査で、血液疾患の頻度を減らすための予防対策が開発され、実施されている。

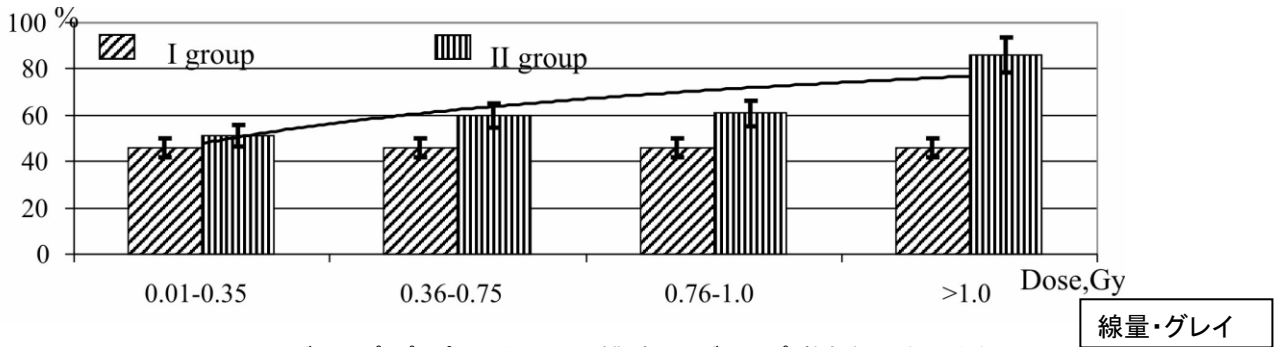
新しい治療法に関するデータは、検査したうちの 72.5% のケースで肯定的な反応があり、部分的な効果は 17.1%、そしてまったく治療の効果がなかったものは 10.4% であり、血液の変化のある子どもたちへの予防と治療対策のさらなる改善と個別化が必要であることを示している。

胎児期に被曝した子どもたち

事故後の期間、胎児発達期であったときに急性被曝しその後も持続的に被曝している 1,144 人の子どもたちの変動が観察された。

グループ I（プリピャチ市からの避難者）とグループ II（放射能汚染地域住民）の胎児の甲状腺被曝線量に有意な差はなく、その幅は 0.0 から 335.0 cGy（センチグレイ）であった。妊娠期による胎児の甲状腺への平均線量は次のとおりである。8 週目まで - 0.0 cGy、8-15 週 - 31.14 cGy、16-25 週 - 84.49 cGy、25 週以降 - 62.3 cGy。

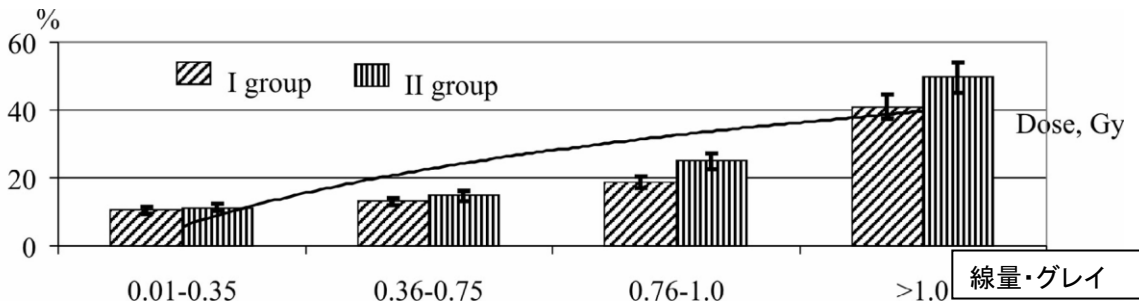
胎児発達中の甲状腺への被曝は、子どもの健康状態にかなりの影響を与えていた。慢性的な病気は、胎児期の被曝線量が0.36 Gyを超すとより頻繁に現れるようであり、1.0 Gy以上ではほとんどすべての子どもで登録された。(図3.30)



Iグループ-プリピャチ市からの避難者、IIグループ-放射能汚染地域住民

図3.30 胎児期甲状腺被曝線量の違いによる慢性的な病気を持つ子どもの% (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

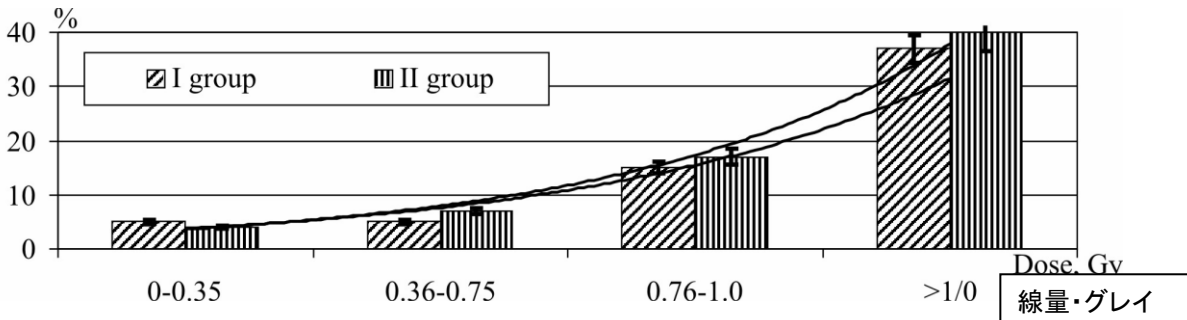
子どもの身体発達障害の頻度は胎児期の甲状腺被曝線量に依存していた。(図3.31)



Iグループ-プリピャチ市からの避難者、IIグループ-放射能汚染地域住民

図3.31 胎児期甲状腺被曝線量の違いによる身体発達障害のある子どもの% (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

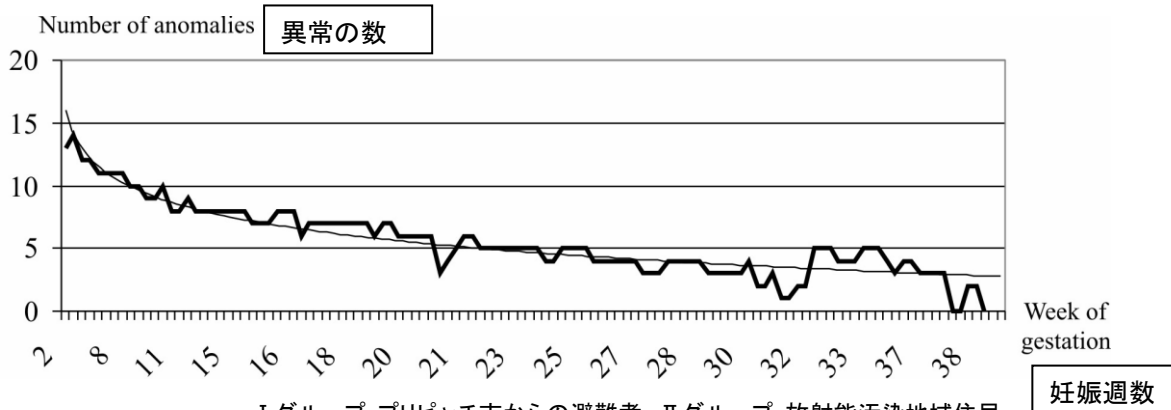
子宮内で被曝した子どもの甲状腺の超音波による構造検査では、観察のすべての期間において、対照データよりも高い頻度で、線状の線維増多の要素が検出された。胎児期の甲状腺被曝線量が0.76 Gyを超えている子どもは、被曝線量が0.36 Gyの子どもよりも、線状線維増多の要素により、超音波による構造には、より多くの侵害が見られた。(図3.32)



Iグループ-プリピャチ市からの避難者、IIグループ-放射能汚染地域住民

図 3.32 被曝線量の違いによる子どもの甲状腺超音波画像による構造障害の頻度
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

被曝の時期が妊娠のどの時期にあったかによって、発達上の小さな異常の数との依存性が示された。(図3.33)



Iグループ-プリピャチ市からの避難者、IIグループ-放射能汚染地域住民

図 3.33 被曝の妊娠時期の違いによる、発達上の小さな異常の数との依存性
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

染色体異常の増加が示され、これは胎児の赤色髄の被曝線量に依存していた。(図3.34)

このように、慢性的疾患の進展、身体発達上の障害、複数の小さな異常をもつ表現型の形成、体細胞における染色体異常の数の増加、甲状腺の超音波画像による構造的変化は、発達中の胎児の甲状腺の放射線被曝線量に関連していた。

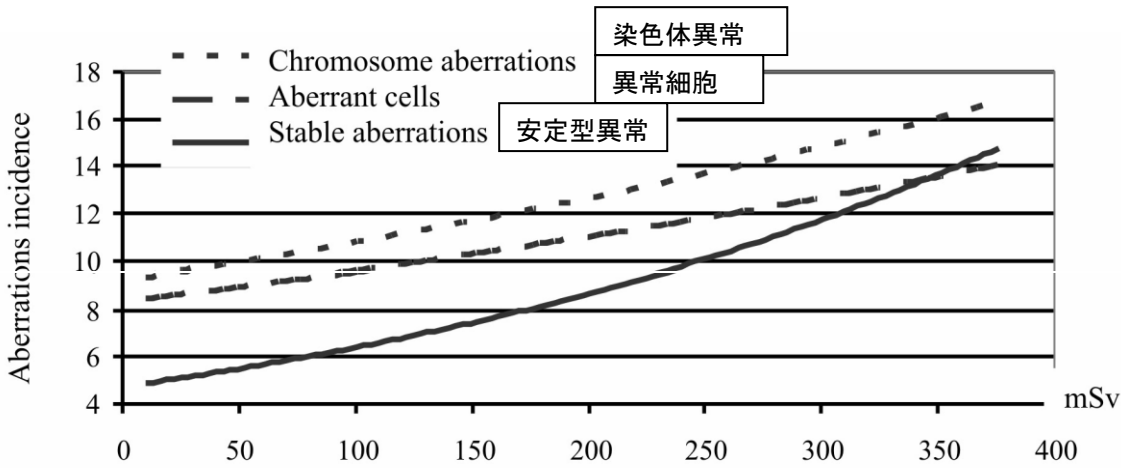


図 3.34 赤色髄の被曝線量による染色体異常頻度の依存性
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

被曝した親から生まれた子どもたちの健康状態

保健省およびウクライナ国家登録の統計は、被曝した人々（基本登録の第一グループの第1、第2、第3）から生まれた0-14歳の子どもの健康状態が負の方向に変化していることを示している。

被曝した親から生まれた子ども（基本登録の第4グループ）には、病気の発症率と有病率が有意に高い。(図3.35)

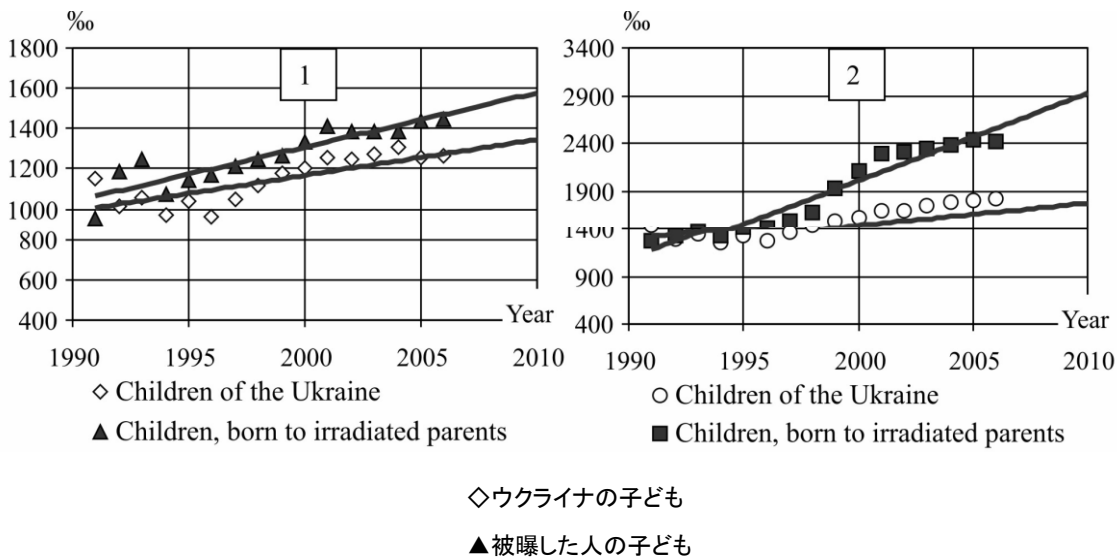


図 3.35 ウクライナの子どもと、被曝した親から生まれた子どもの病気の発症率（1）と有病率（2）の傾向
 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

しかしながら、基本登録第4グループの子どもたちのこれらのパラメーターの進展は、ウクライナ全住民の子どもよりも早い（表3.29）。この見積もりによれば、近い将来、負の傾向が蓄えられていくであろう。

表 3.29 ウクライナの子どもと被曝した親から生まれた子どもの発症率と有病率の増加
（“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ）

指標	平均的な絶対増加数		平均増加率 (%)	
	ウクライナ	被曝した人の子ども	ウクライナ	被曝した人の子ども
発症率	6.7±10.7	52.3±20.6*	0.84±1.73	7.03±3.23*
有病率	21.7±20.2	85.8±20.0*	1.55±1.42	6.30±1.57*

注：* - ($p < 0.05$) の確率で有意

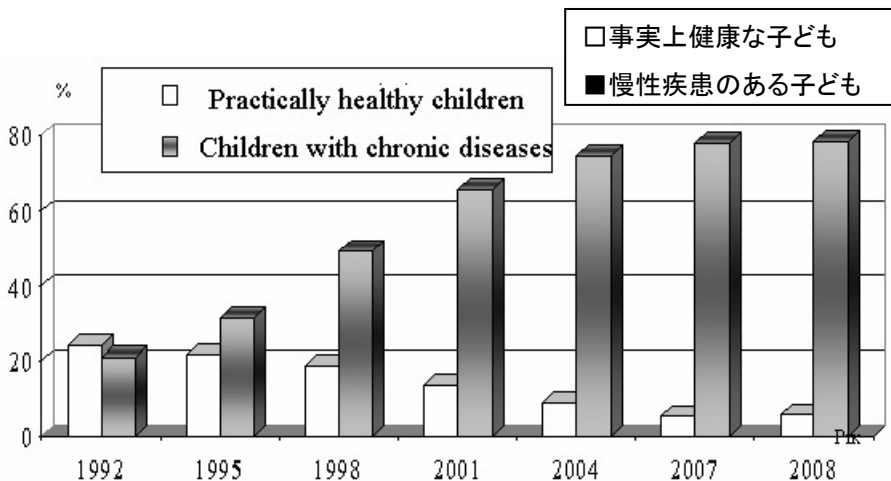


図 3.36 被曝した親から生まれ慢性疾患のある子どもと健康な子どもの比重の事故後の期間における変動（“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ）

子どもの集団に関して、被曝した人の子どもは1992年と比べ2009年には特定の分類の病気の登録が急速に増加していることが注目される。すなわち、内分泌系疾患 - 11.61倍、筋骨系疾患 - 5.34倍、消化器系 - 5.00倍、精神および行動の異常 - 3.83倍、循環器系疾患 - 3.75倍、泌尿器系 - 3.60倍である。

この集団の子どもたちでは、環境への適応経過が、新生児期からより緊張を強いられている。彼らの中には、すでに生後最初の1年でしばしば発病するという多くのグループが形成され、6-7歳では49.2%から58.7%に達し、免疫状態は、多くの免疫学的パラメーターの頻度が生理学的な変動幅を超えていること（75.0-45.7%）が特徴的になっており、これが慢性的疾患形成の基礎となっている。（図3.36）

事故後の期間の変動では、健康な子どもの比重は1992年の24.1%から2008年には5.8%に減少し、慢性疾患のある子どもの数は1992年の21.1%から2008年の78.2%に増加した。

ウクライナ国家登録では、1986-1987年のチェルノブイリ事故処理作業員から13,136人の子どもが生まれ、それらの中で1,190人（1000人あたり90.6）が先天性欠損（IBD）として登録された。IBDの

最高頻度は事故後の最初の年に観察された。(図 3.37) 時の経過の中で、父親が放射線に接触する機会が減ったため、出生時欠損のある子どもの数は減少した。

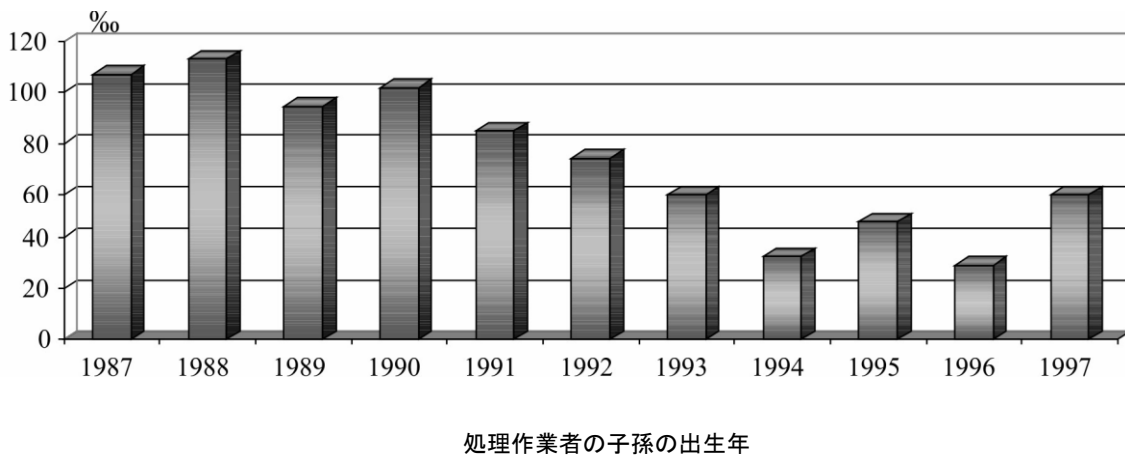


図 3.37 1986年にチェルノブイリ事故の処理作業に参加した親から生まれた子どもの先天性欠損の頻度 (“ウクライナ医学アカデミー放射線医学研究センター”のデータ)

100-1000mSv の線量に被曝した事故処理作業員から生まれた子どもの表現型は、胚形成異常の複数の傷痕の存在によって特徴づけられている。染色体異常頻度の増加は、主に染色体タイプの損傷の数の増加として現れている。子どもと父親に現れた異常の数の間には正の相関がある ($d=0.620$)。マルチローカス DNA フィンガープリントの手法を使用すると、事故後、事故処理作業員の家族に生まれた子どものゲノムに、マイクロサテライトに関連したシーケンスの多様性に 5.6 倍の増加がみられた。新しいバンドの発生率は、その子どもの受胎前に父親が放射線の影響に接することがなくなってからの時間と父親の吸収線量に依存していた。この相関は、非直線的であった。

親の生殖細胞に導かれた放射線の影響は、子孫の個体発生および様々な段階で現れる可能性がある。出生後の個体発生の “小さな” 突然変異は、おそらく、遺伝的構造の全体性の不安定化を生じさせるヘテロ接合条件において具現化される。

場合によっては、この現象はいわゆる “生理的劣性” の基礎となり、被曝した親の子孫の多様性を減少させるものかもしれない。被曝した人々の子孫における遺伝的なゲノム不安定性の結果は、多数の異形、器官の形成異常、染色体異常頻度の上昇、マイクロサテライト DNA 部分の突然変異の存在であるかもしれない。これらすべてが生活していく条件への適応を傷害することに寄与し、多因子型疾患の発生と具現化のリスクを増大させ、被曝した親から生まれた子どもの健康レベルを低下させている。

このように、放射線の影響を受けている小児期年齢集団の健康状態の動的な変化は、以下のような、持続する負の傾向という特徴を示している。

★子どもたちは、さまざまな病気の発症率が増加しているだけでなく、実際に健康な子どもが量的に減少しており、その傾向は変わっていない。健康状態が最低レベルの子どもは、事故時に甲状腺に高線量の被曝をした子どもたちである。

★慢性的な病気の発症とその経過に次のような特異性がある。すなわち、発症の若年齢化、病変が多系統・多器官にわたる、治療法に対して比較的抵抗性があり再発の経過をとる、といったことである。

★事故時に胎児発達期であった子どもたちの場合、胎児期の被曝線量と、出生後の健康状態、身体発達、多数の小さな異常を有する表現型の形成、体細胞の染色体異常の数の増加との間に、信頼性のある相関が存在する。

★被曝した親から生まれた子どもでは、多因子型疾患の疾病素質、発達上の多数の小さな異常を有する形態発生上の変動の形成、体細胞の染色体異常の頻度上昇、マイクロサテライト関連のDNA部分の突然変異頻度の上昇などによって特徴づけられる、ゲノム不安定性の現象が形成されている。

3.2.4 甲状腺の病気

チェルノブイリで被災した大人の中でもっとも一般的（40–52%）な病気は甲状腺（TG）の病気であり、一方普通の人口集団では、ウクライナ保健省の公式統計にしたがえば、その頻度はずっと少ない。甲状腺の病気の有病率の増加に対して事故のネガティブな要素が複合的に寄与しているが、第一に電離放射線の影響、そしていくつかの微量元素、特にヨードとセレンの不足がある。

外部ガンマ線と放射線核種からの内部被曝の合計（複合）が、特定の腺に影響を与える構造のホルモン生成細胞に影響を与え、これが内分泌系の中核と末梢組織両方の、ホルモン調整の様々な段階の破壊を導いている。これらの組織への放射線のダメージは、環境のネガティブなファクターとの相互作用を通して遺伝的素因の活性化を通して具体化した。

吸収した線量の一部は事故後初期の数日–数か月のうちに形作られたものであり、その後数年にわたって長期に続き、その影響の評価を複雑にした。事故の最初の数日から数週間の空気中の非常に高濃度のヨウ素同位体と従来のヨウ素欠乏状態が、甲状腺への放射性ヨウ素の蓄積と甲状腺細胞の破壊に非常に寄与し、そのことが高線量（1 Sv 以上）を被曝した事故処理作業者の急性放射性甲状腺炎を発症させ、電離放射線が甲状腺ガンという形で早期に具現化された。放射線線量 0.25–1 Sv の人々では、事故後最初の3–5年の間（1986–1991年）には、一時的な甲状腺機能正常で高サイロキシン血症が長く観察された。これは甲状腺と他の内分泌器官に晩発的に生じる慢性的な病理プロセス、特に甲状腺炎と結節性甲状腺腫が徐々に発症してくるものの先行条件であった。

事故前には、ヨウ素とセレンの不足によって、多くの人々が内分泌（ホルモン産生）細胞の過形成という形で甲状腺に機能的緊張状態があり、このような形で（甲状腺の）容量が増えていたことが、（放射性）同位体をより多く蓄積することに寄与した。

チェルノブイリ事故後、非確率的病気は段階的に–内分泌系の中核と末梢部分の組織に生じる病態生理学的変化に応じて–発生した。

事故の複雑なネガティブな要素に対する第一次的な応答の期間、これは1986年8月までであるが、部分的な内分泌細胞の破壊のために、血中のホルモンの末梢濃度の増加がみられた。

調整の中核部分の応答欠如–放出ファクターと下垂体性ホルモン合成の欠如によるフィードバックの侵害–という背景に対する末梢ホルモンの合成の増加は、次の期間には、補償的末梢ホルモン過生産として典型的となり、これは1986年の秋から1989年まで続いた。

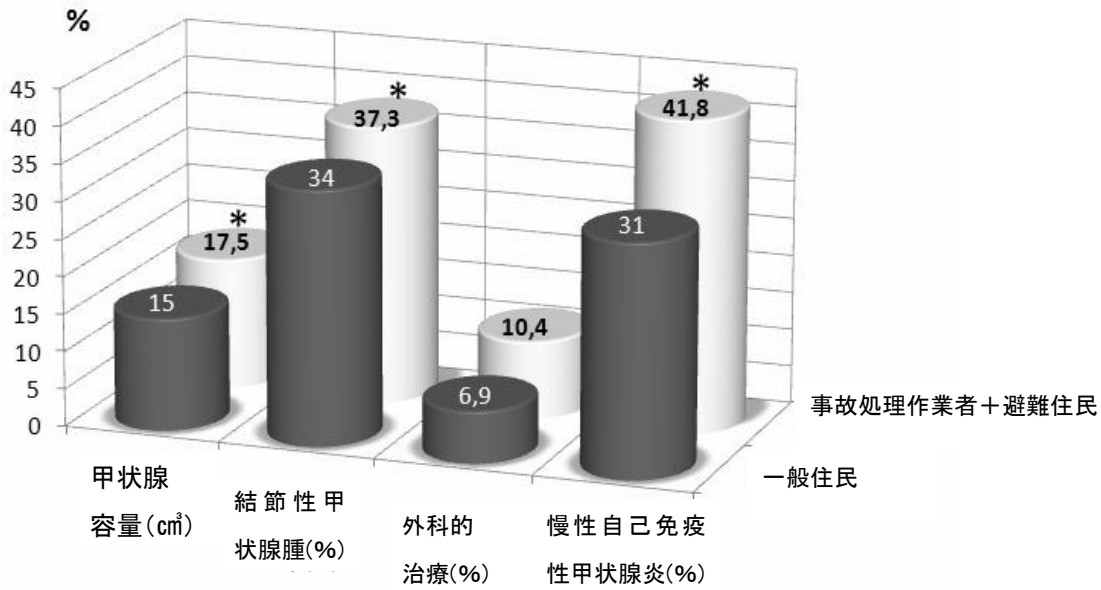


図 3.38 電離放射線の影響を受けていないウクライナの一般住民と、チェルノブイリ事故処理作業員（1986-1987年）と30km圏からの避難住民の中の甲状腺疾患の頻度（2006年のデータ）《ウクライナ放射線医学センターのデータ》

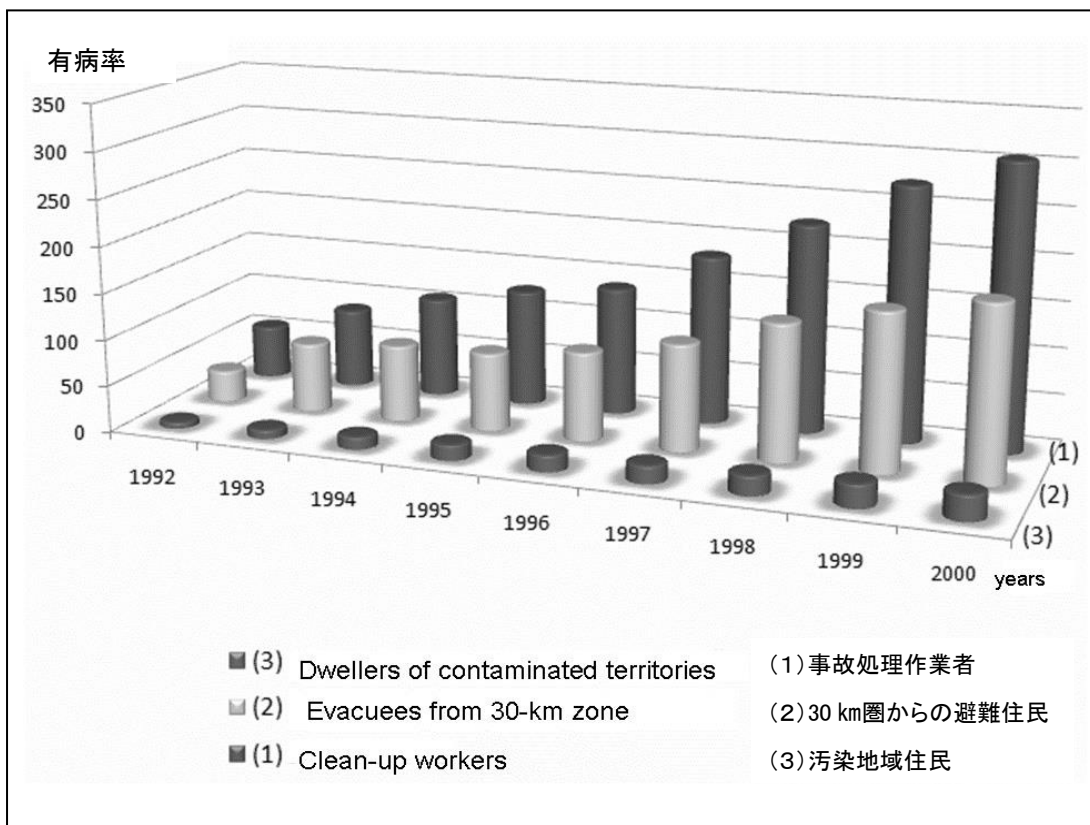


図 3.39 ウクライナにおけるチェルノブイリ事故被災者のカテゴリー別の慢性甲状腺炎の有病率（成人と子ども1万人当たり） ウクライナ保健省のデータによる

次の期間（1990-1995 年）、内分泌組織の準臨床的障害は、ホルモン産生の中核調整の機能回復、末梢内分泌組織の機能的キャパシティの減少、甲状腺と他の器官の準臨床的状態の進展が観察された。

1996 年から今日まで、放射線誘発性の内分泌障害の臨床的発現は、末梢内分泌組織の機能的キャパシティの激しい減少、ホルモン調整の中核部分との連携障害という背景を持ち、爆発的な内分泌疾患の検出と言う形で現れた。

1992 年から 1996 年の間には、チェルノブイリ事故で被災した患者の中で甲状腺疾患のリスクは 9 倍増加し、II 型糖尿病は 2.4 倍となった。事故処理作業者の内分泌疾患の毎年の増加率は成人住民全体よりも 3-5 倍も高い。ウクライナの家計登録（68,145 人、観察期間 1989-2009 年）によると、ほとんどが慢性（自己免疫性）甲状腺炎、結節性甲状腺炎、後天性甲状腺機能低下症のために、非腫瘍性の甲状腺疾患の増加も見られている（図 3.38、3.39）。

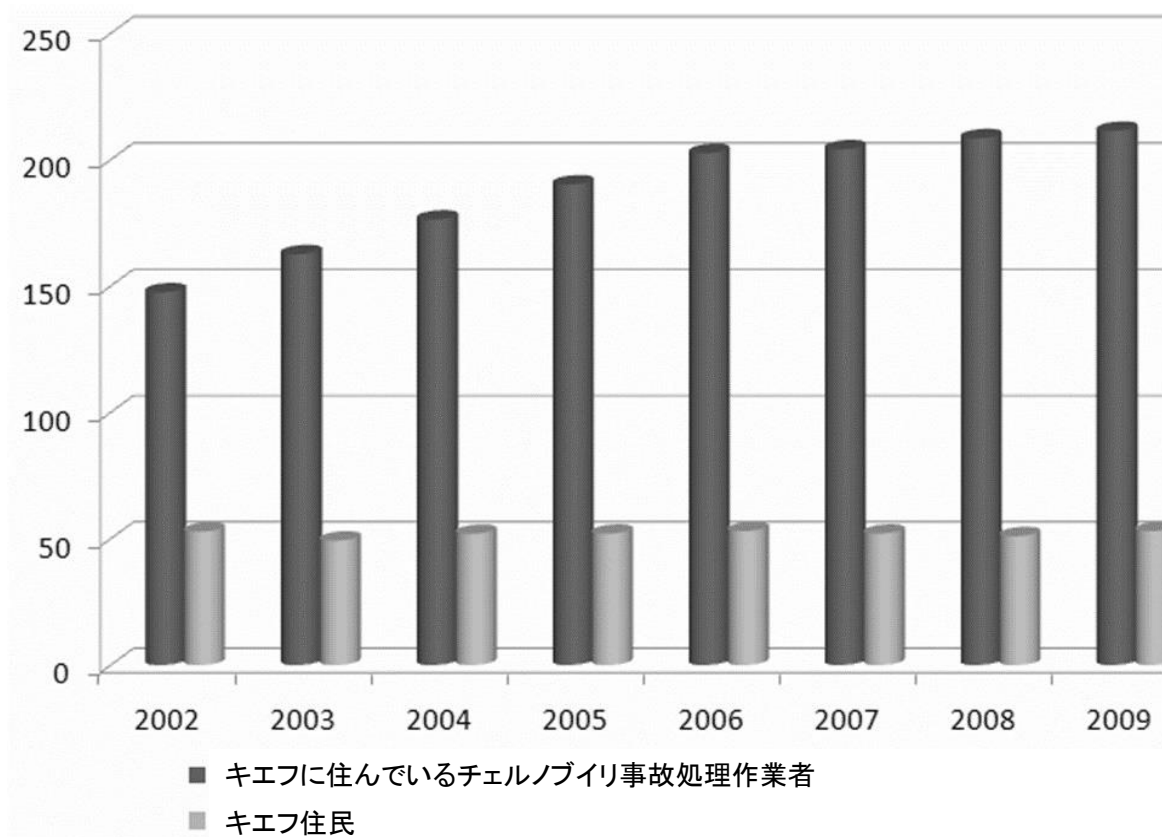


図 3.40 キエフ住民（成人と子ども 1 万人当たり）とチェルノブイリ事故処理作業者の慢性（自己免疫性）甲状腺炎の有病率 《ウクライナ放射線医学センターのデータ》

1997 年から現在までの間、事故処理作業者の慢性甲状腺炎は増え続けているが、キエフ住民ではそのレベルは安定している（図 3.40）。事故処理作業者の中で、甲状腺疾患の有病率がもっとも急速に増加しているのは、1986 年時点で 20 歳未満だった人々である。1986-1987 年の事故処理作業者と 30 km 圏からの避難住民における慢性甲状腺炎と後天性甲状腺機能低下症の重要なリスクファクターは、全身の外部被曝線量が 0.25-1 Gy の範囲にあるということである。

子どもたちの甲状腺の状態

事故後最初の1年の間、(放射線の)影響を受けた子どもたちには、臨床的な発現はないが、甲状腺の被曝に対する反応が、短期の“ストレス”性の高サイロトロピン(甲状腺刺激ホルモン)血症に続き、サイロトロピン-サイロキシンシステム内の相互連絡の再開に続く、高サイロキシン(甲状腺ホルモン)血症として観察された。事故から12-18ヶ月後、サイロキシンの含有量は正常化し、その後の数年間は生理学的基準内で変動していた。その後の平均的サイロトロピン血症のレベルは、高サイロキシン血症の進行という背景はあったが、正常範囲内から逸脱してはいなかった。2Gy以上の甲状腺放射線被曝量では、平均的な血中サイロキシンレベルは線量の増加とともに有意に上昇し、15Gyの線量で最高に達した。

1986-1991年段階でのホルモンの変化は、子どもにおいても成人においても甲状腺疾患の変化という臨床的な発現には至らなかった。1992-1996年には、臨床的な発現はないが、わずかに0.8%のケースでフリーサイロキシンが減少し、0.2%で下垂体性の甲状腺刺激ホルモンの増加が観察された。慢性甲状腺炎や甲状腺機能低下症の症例が登録されたのは稀であった。これらの疾患発症頻度の信頼性ある増加というものはなかったが、これはリハビリテーション過程の sanogenetic ポジティブの役割や、身体の成長における補償によって説明できる。

チェルノブイリ事故により影響を受けた子どもたちの中で、甲状腺機能低下症や慢性甲状腺炎および甲状腺中毒症のような病気の割合に有意な変化はなかったが、1999-2003年に、隠れていた甲状腺の欠陥を検出する研究が実施され、チェルノブイリ事故により影響を受けた子どもおよびヨウ素不足の環境にある汚染地域に継続して住んでいる子どもで甲状腺疾患のある子どもたちに対する治療法とリハビリテーションの原則がたてられた。

2004-2006年には、チェルノブイリ事故のヨウ素が問題になっていた時期に被曝した事故処理作業者に生まれた子どもの中に、視床下部-脳下垂体軸の中核的な調整の緊張という甲状腺システムの機能の特徴が見出された。これは検査したうちの35.5%で見られ、試験的な甲状腺刺激ホルモン放出ホルモンによって、サイロトロピンの過剰分泌があることによって証明された。おそらく、甲状腺疾患を発症しやすい神経内分泌構造の生理学的劣性の間接的証拠と考えられる。時期は遅れて、長期の細胞培養によって細胞遺伝学的影響が検出され、被曝した親から生まれた子どもに染色体不安定性が伝達されたことが示され、視床下部-脳下垂体-甲状腺システムに隠れた機能的欠陥をもつ子どもたちが甲状腺の病気を発症するかもしれないことが示された。

ウクライナの子どもとティーンエイジャーの甲状腺ガン

こんにち、ハイリスクグループ(事故当時0-18歳)におけるチェルノブイリ惨事後の甲状腺ガン(TC)発症率の有意な増加は、最終的に証明された；このことは、世界の主導的な医学および科学研究機関に置いてチェルノブイリ事故の主要な健康影響として認知されている。

チェルノブイリ事故から25年たち、放射性ヨウ素のもっとも重大な影響を経験した子どもとティーンエイジャーは、こんにち大人というカテゴリーに移動しており、そのため現在ではまだ若い成人層に対する甲状腺ガンの情報、すなわち腫瘍の肉眼および顕微鏡による特徴の変化の動向と腫瘍の侵襲的な特性に発見に特別な注意を払うべきである。

悪性腫瘍の発生は、明らかに放射線の確率的影響であるが、子ども時代にチェルノブイリ事故により被曝した人々、特に当時4歳未満だった人々は、甲状腺被曝量に対する甲状腺がん発生率の追加的(過

剰)レベルに明らかな依存性がある。チェルノブイリ惨事の際に18歳未満だった人々の中で被曝線量の高い人ほど甲状腺ガンの有病率が高いことが、ウクライナとアメリカの研究者の甲状腺プロジェクトによるスクリーニングと研究で観察されている。さらに、事故前に生まれた子どもたちの罹病率は事故後に生まれた子どもでの率と比べると15倍かそれ以上であり、このことが、「事故後に子どもの」甲状腺ガンの発生が放射線によるものであることを一層確認している。

ウクライナ医学アカデミーのV.P.Komissarenko 名称内分泌・代謝研究所の臨床と形態学的なデータ登録の分析によれば、チェルノブイリ事故後(1985-2008年)にウクライナで、1968-1986年生まれの6049人(事故当時0-18歳)が手術を受け、形態学的にも「甲状腺ガン」と確定診断を受けているが、そのうちの4480人(74.1%)は小児(事故時に0-14歳、図3.41)で、1569人(25.9%)はティーンエイジャー(事故時に15-18歳、図3.42)であった。

これらの年齢グループで女性：男性の比率は、事故時の年齢が高いほど増加している。小児期では3560：920(3.9：1)で、ティーンエイジャーでは1312：257(5.1：1)である。発生率は1990年から2008年まで徐々に増加している。チェルノブイリ事故当時に子どもだった人の甲状腺ガンの新しいケースは、2009年に463件である(2008年と同等)。事故当時ティーンエイジャーだった人々では129件で、やはり前年とほぼ変わりがない。

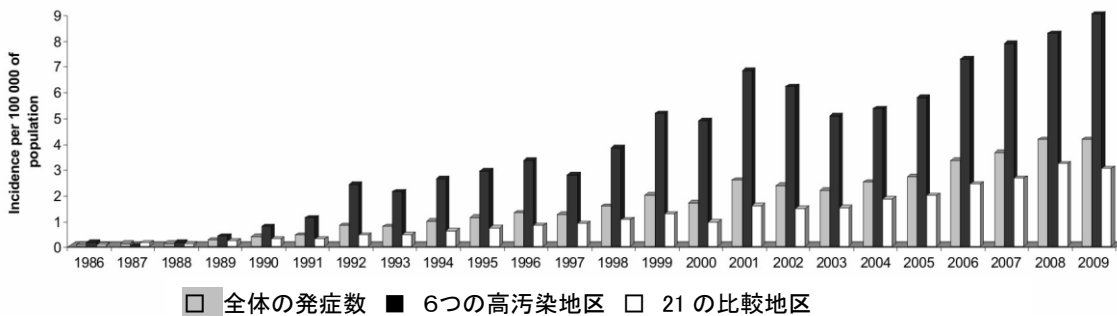


図3.41 甲状腺ガン発生数(チェルノブイリ事故時に0-14歳だった子どもたち10万人あたり。ウクライナ医学アカデミー内分泌・代謝研究所のデータ)

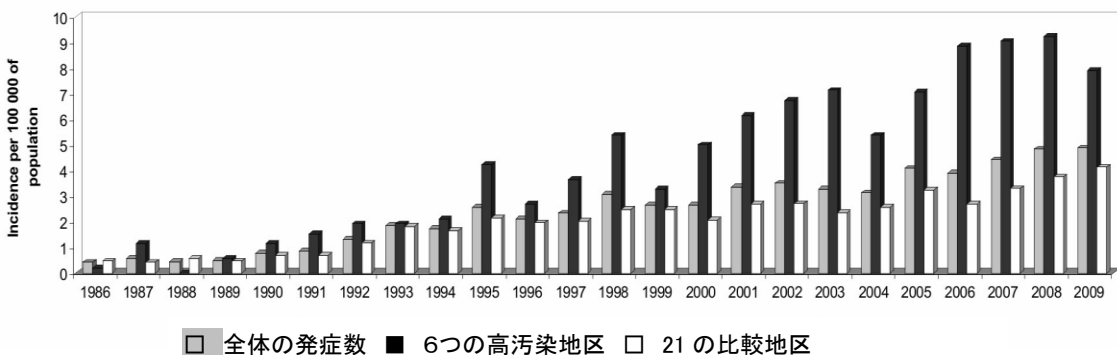


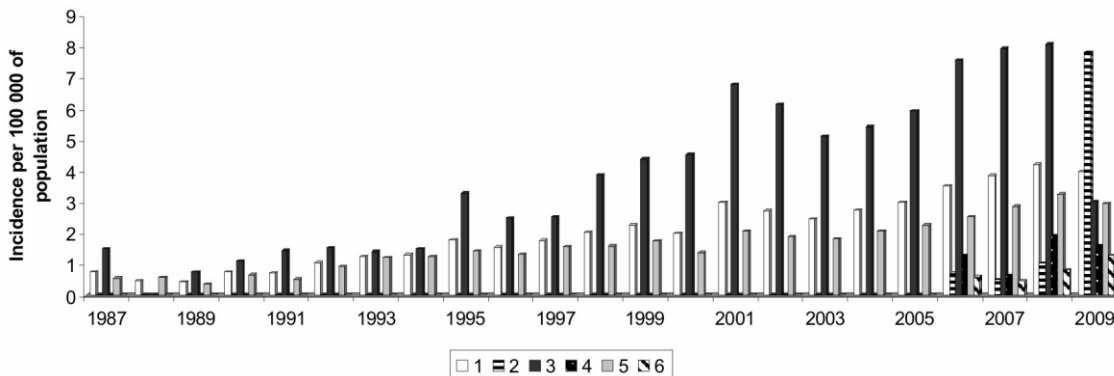
図3.42 甲状腺ガン発生数(チェルノブイリ事故時に15-18歳だった子どもたち10万人あたり。ウクライナ医学アカデミー内分泌・代謝研究所のデータ)

相対的指標はさらに蓋然性がある。すなわち、事故時に子どもあるいはティーンエイジャーだった人10万人当たりの発生数は1999年から2008年まで着実に上昇している。2009年には、小児での発生数は4.3、ティーンエイジャーでは4.87で、2008年を超えてはいない(図3.41、3.42)。そのため、2008-2009年が放射線リスクグループの中での発生数のピークであったと判定することが可能で、2010年はこうした病気は徐々に減少していくことが予想される。

ある範囲までの甲状腺ガンの発生数の増加は、1986-2008年の間に指定されたコホートの年齢が徐々に高くなったということの説明できる。しかし、北方の6つの高汚染地域と共和国の残りの地域との差は維持されているだけでなく、2006-2008年には事故時に子どもおよびティーンエイジャーだった人での研究のそれ以前の期間との比較でも増加しており(図3.41、3.42)、甲状腺ガン発生数の増加は事故から時間が経過して年齢が上がったためではなく、放射線のファクターとの関連を示している。

子どもおよびティーンエイジャーの甲状腺ガンで最近手術を受けた人の年齢は(図3.43)、事故後に生まれた人のみである。事故後に生まれた成人での初めての甲状腺ガンの手術のケースは2006年に報告された。2006-2009年の間、事故時に子どもおよびティーンエイジャーであった人たちの2223件に対して、(事故後生まれの人のケースは)91件であった(図3.43)。

1986-2009年に登録された甲状腺ガンの合計数は6448件で、そのうち6049件が事故前に生まれ、399件が事故後に生まれた人々であった。事故前に生まれた若成人での甲状腺ガンの発生数、ウクライナ全般、もっとも汚染された地域での2009年の罹病率は2008年レベルにとどまっている(図3.43)。



1-ウクライナ、1987年以前生まれ、2-ウクライナ、1987年およびそれ以降生まれ、3-6つの最も汚染された地域、1987年以前生まれ、4-6つの最も汚染された地域、1987年およびそれ以降生まれ、5-21の比較地域、1987年以前生まれ、6-21の比較地域、1987年およびそれ以降生まれ

図3.43 甲状腺ガンの発生数：手術時に18-40歳であった人、1987年以前に生まれた人、1987年及びそれ以降に生まれた人、それぞれ10万人当たり(ウクライナ医学アカデミー内分泌・代謝研究所のデータ)

事故時に18歳未満だった患者で1990-2008年に手術した甲状腺ガンの形態学的特徴によると、92.2%のケースは乳頭状ガンであった。

事故からの時間が経過するとともに、被曝した時(から?)の年齢も上がっていたが、乳頭状ガンの形態学的特徴も変化し、固形構造のガンのパーセントは徐々に減少し、1990-1995年には24.4%、2006

—2009年には5.7%で ($p < 0.01$ 、 χ^2 二乗検定)、乳頭状ガンと混在した形態が特徴的な構造のものが増えていった。それぞれ、1990—1995年には12.0%から2006—2009年には34.0%、1990—1995年に25.5%から2006—2009年には43.8%であった ($p < 0.05$)。潜伏期が長くなるとともに、乳頭状ガンの混在した状態の構造的要素の組み合わせも変化した。固形—小胞状構造の腫瘍のパーセントは有意に減少し(1990—1995年には72.7%、2006—2009年には25.4%、 $p < 0.01$)、一方乳頭—小胞状構造の腫瘍は増加した(1990—1995年には10.9%、2006—2009年には43.8%、 $p < 0.01$)。

乳頭状ガンの侵襲的な特性の解析によって、2つの主要な依存性が判明した；年齢と時間である。

年齢依存性では、甲状腺外に侵襲のサインがあり、局所のおよび離れた部位への転移は、手術年齢が4—14歳の子どもから19—40歳の大人になるに従い、着実に有意に減少した。

時間との依存性では、4—40歳のすべての患者のケースを組み合わせたところ、上記の指標(転移など)は、潜伏期(チェルノブイリ事故から手術までの時間)の長さの増加にともなって減少していた。特に注意すべきは、離れた部位への転移の発生がある患者のパーセントが1990—1995年には23.0%であったのが、2006—2009年には1.8%に減少したことである ($p < 0.001$)。

さらに、被包性腫瘍のパーセントは1990-1995年の7.4%から2006—2008年の29.4%に増え($p < 0.001$)、同様に10mm未満の「小さい」腫瘍も1990-1995年の4.1%から2006—2009年の29.4% ($p < 0.001$)に増加した。

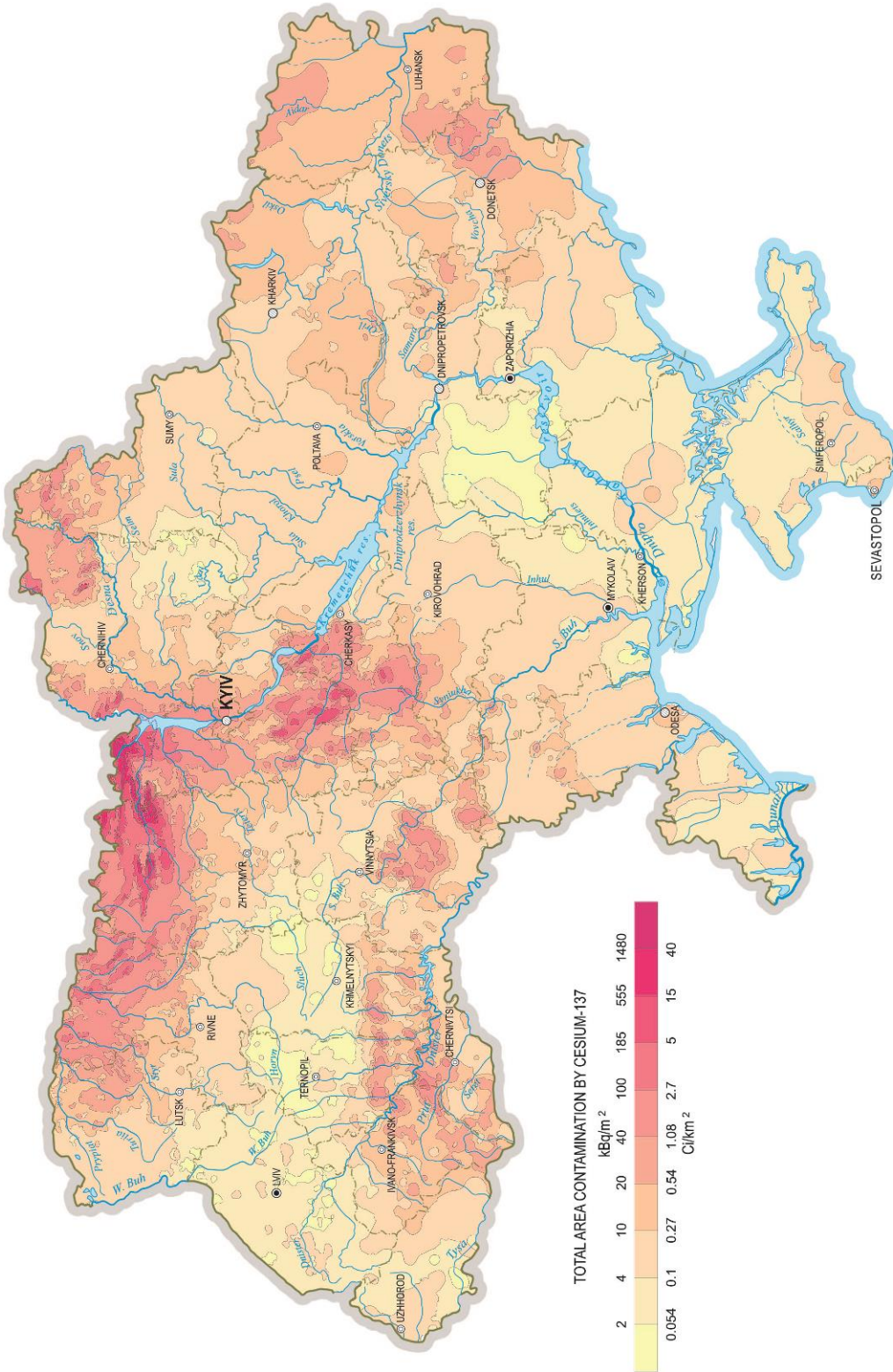
このように、(事故時の)ども及びティーンエイジャー10万人当たりの甲状腺ガンの発症数は、2006-2008年に最高になり、2009年は安定していた。

同時に、国内で最も汚染されたところと最も汚染の低いところの間での発症数レベルの有意さ(小児で2.5倍、ティーンエイジャーで1.9倍)は維持されており、ウクライナでのチェルノブイリ惨事から24年後の事実と言う証拠はハイリスクグループの人々における甲状腺ガンの発症数は放射線の影響が維持されているということである。

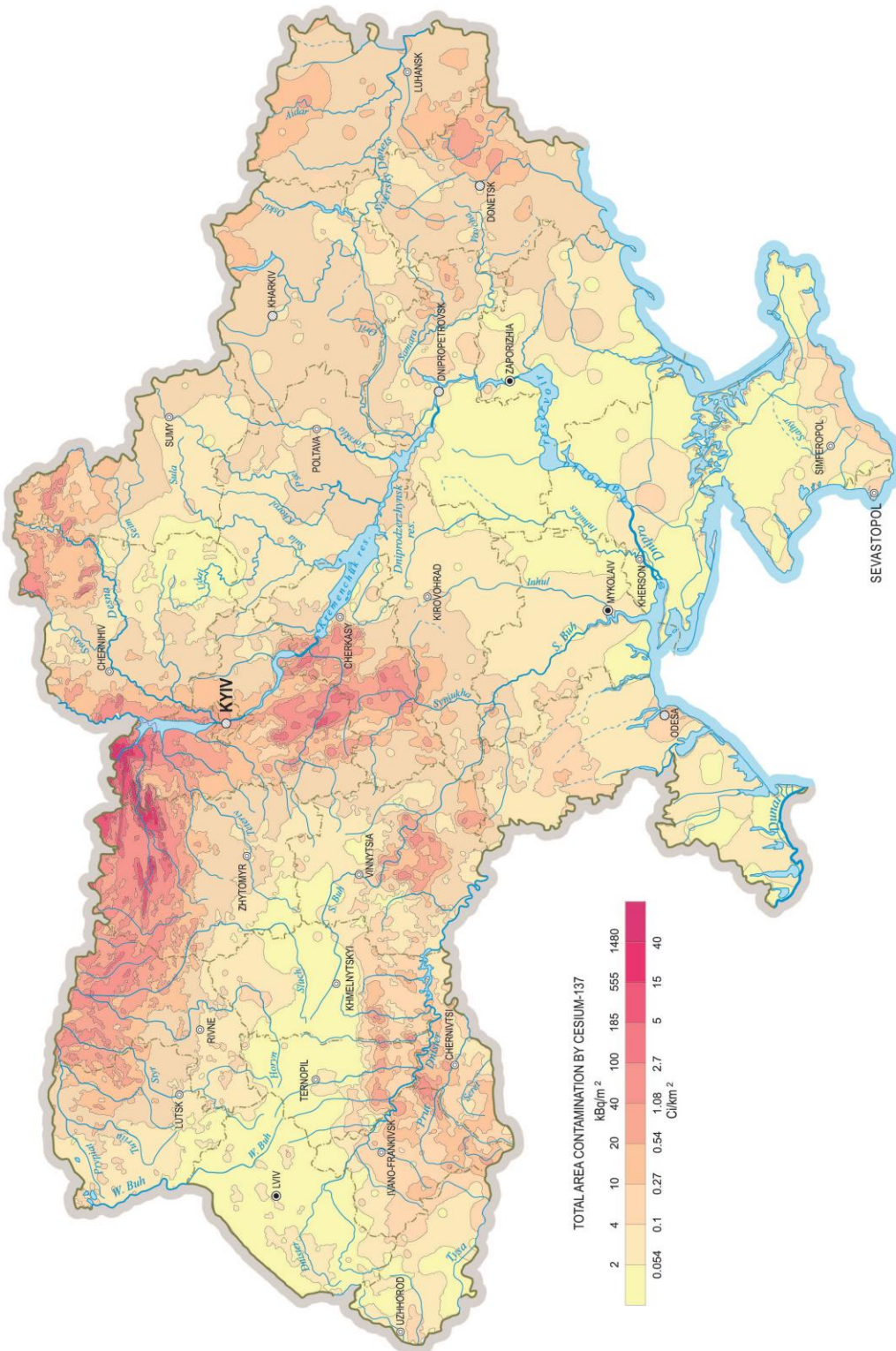
このデータはまた、チェルノブイリ惨事からの時間が経過し、ガンの手術を受けるまでの年月も経過するとともに、甲状腺ガンの中で乳頭状腫瘍がかなりの形態学的変化を経たことが病気の侵襲性の減少性に反映し、局所あるいは離れた部位への転移という、甲状腺外への拡散の兆候を示すケースの割合が有意に減少したことを示している。

チェルノブイリ事故以降に生まれた人での症例が徐々に蓄積されてきたことで、各年の最適なグループとの比較において、チェルノブイリ事故時に放射線の被曝を受けた子どもとティーンエイジャーグループにおける甲状腺ガンの放射線由来という性質を支持する証拠が追加されている。

CONTAMINATION OF THE TERRITORY OF UKRAINE BY CESIUM-137 (AS OF MAY 10, 1986)



CONTAMINATION OF THE TERRITORY OF UKRAINE BY CESIUM-137 (AS OF MAY 10, 2011)



CONTAMINATION OF THE TERRITORY OF UKRAINE BY CESIUM-137 (AS OF MAY 10, 2036)

