

LNT モデルの不確実性：低線量放射線は長寿と制癌に有効

須藤鎮世

就実大学・薬学

1. 研究のいきさつ

2011年3月11日、東京電力福島第一原子力発電所は地震に反応して自動停止したが、地下においた発電機（設計ミス）が浸水により機能せず、燃料棒の冷却に失敗し、水素爆発により建屋が爆破された。20 km 圏内の警戒区域の住民は緊急避難を余儀なくされ、貴重品等の回収等のため、一時帰宅が計画された。帰宅者の汚染検査が必要となり、ボランティアが募集された。私は学生実習で使うガイガーカウンターを持参し、1週間ほど汚染検査に従事した。

約 28,000 世帯、78,000 人のうち 43%が一時帰宅をした。除染が必要な者は 0 であった。福島県では地震、津波による死者は 1,600 余名であったが、避難に伴う死者は 2,000 を超えた。放射線から人を守るといいながら、放射線による死者は 0 なのになぜかくも多数の人を犠牲にしたのか。いろいろと考えた末に、諸悪の根源は直線閾値（いきち）なしモデル（Linear no-threshold model、LNT と略）にあると思いついた。

LNT を支えるのは広島・長崎の被爆者の生涯調査に基づいた米国科学アカデミーの報告書である。よく調べると、これには瑕疵があり、短命で癌リスクが高いと考えられていた被爆者は、平均すると長寿で癌リスクが低いのであった。LNT は放射線規制の基礎として、Gold standard とされているが、科学的に確実なモデルではないといえる。

2. 放射線の中で生きている私たち

我が宇宙は 138 億年前にビッグバンで誕生した。星の生々流転が繰り返され、46 億年前に太陽系が作られた。そのとき、現在よりもはるかに多くの放射性物質が作られ、今も残っている。一次天然放射性核種と呼ばれ、ウラン-238 やカリウム-40 が代表である。カリウム-40 は生体の重要な構成成分で、人体内で毎秒 4,000 発が崩壊している。ラドン-222 の半減期は 3.8 日であるが、ウラン-238 の子であるからウラン-238 があるかぎり、無くなることはなく、二次天然放射性核種と呼ばれる。トリチウム-3 や炭素-14 は誘導天然放射性核種と呼ばれ、大気中で絶えず生成され、我々の体の成分となっている。炭素-14 は体内で毎秒 2,500 発が崩壊している。人工放射性元素の例は フッ素-18 で癌の診断などに活用されている

カリウム-40 や炭素-14 はあらゆる食品に含まれている。その線量は (Bq/kg) は魚や牛肉には 100、ほうれん草やわかめには 200、干し椎茸には 700、干し昆布に至っては 2,000 とされる。日本人の被曝線量は 2.1 mSv/年とされるが、そのうち 0.99 mSv は食品由来で

ある。Sv と Bq の換算表から 0.99 mSv はほぼ 9,500 Bq となる。2.1 mSv では単純比例計算で 20,151 Bq となる。我々は体の内外から毎秒 20,000 発の放射線を浴びていることになる。我々自身が放射生物体であり、母親が子を抱くと互いに放射線を照射し合うことになる。その線量はバナナ半分を食べるほどのものだから、何ら心配はいらない。

3. 分子生物学的考察

1) 活性酸素の消去

我々の体の 3/4 は水で、低線量放射線は主に水を電離し、ラジカルを含む活性酸素 (ROS) を作る。ROS の生産は呼吸する方が通常の放射線より圧倒的に多い。100 億個/細胞/日で、通常の放射線の 10^7 倍も形成される [1]。しかし、生体は ROS を消す物質や機構を有している。低分子化合物としてグルタチオン、システイン、尿酸などの生体分子、食物由来ではビタミン C、ビタミン E、 β カロチン、アスタキサンチンなど、タンパク質としてトランスフェリン、フェリチン、メタロチオネインなど、抗酸化酵素としてスーパーオキシドデスムターゼ、カタラーゼ、グルタチオン S-トランスフェラーゼ、グルタチオンペルオキシダーゼなどがある。自然放射能による ROS は呼吸に比べ無視できるほど少ない。

2) DNA 修復

放射線は活性酸素のみならず、より直接的な作用で DNA に損傷を与えることがある。塩基切断、塩基修飾、鎖切断、架橋などである。進化の歴史を通して、こうした損傷に対応した修復系が獲得された。傷ついた塩基に対してそれを取り除いて修復する塩基除去修復、ヌクレオチド単位であればヌクレオチド除去修復、誤った塩基の取り込みにはミスマッチ修復、二本鎖切断に対応した組換え修復などである。

3) アポトーシス (計画的自死)

p53 は RB などと共に癌抑制遺伝子の 1 つである。DNA に傷がつくと p53 などが働き、細胞周期を止め、DNA の修復を促す。修復不能となればアポトーシスが作動し、細胞は自死に追い込まれる。こうして、将来に禍根を残しそうな細胞は前もって生体から除去される。癌抑制遺伝子は放射線から我々を守る役割を果たしており、その一環として生体防御機構としてのアポトーシスがあるといえる。

4) 免疫系

臓器移植や HIV/AIDS で免疫能が落ちた患者の癌のリスクは大いに高まる。これはとりもなおさず、正常な免疫系が発癌を抑制していることの証である。老化して免疫能が衰えると癌リスクが高まることと軌を一にする。呼吸により 100 億個/細胞/日で ROS が作られても、上記のような生体防御機構をくぐり抜けて DNA の傷として残るのは 1 変異/細

胞/日と見積もられる[1]。

4. 生命体の積極的防御策：適応応答（ホルミシス）

上記 3. 1)～4)では、活性酸素ができれば消す、変異が生じれば修復する、修復できなければ殺す、癌細胞が生じれば免疫系が抑制するというような、いわば受け身の生体防御機構について略述した。しかし、生体系の特徴は、危険信号を捉えれば将来に備えて積極的に生体を強化するという反応を示すことにある。これは適応応答（ホルミシス）よばれる。耐えうる程度の負荷や刺激は生体を強くする。これはワクチンを接種しておく、やがて病原が来襲してきた時に、軽微あるいは未然に防ぐことができることを考えると理解しやすい。これについては章を改めて後述する。

4. 直線閾値なしモデルを検証する

1) 基本的 3 つのモデル

閾値に関し、基本的に 3 つのモデルを図 1 に示す。直線閾値なしモデル(LNT)は放射線はいかに微量であれ線量に応じて有害で、線量率に依らない(蓄積性がある)とする。現在、放射線規制の基礎となっている。直線閾値モデルは閾値以下では無害、それ以上では有害とする。放射線ホルミシスモデルは低線量では有益、高線量では有害とする。有益性と有害性の間に閾値が設定できるので、実証できれば LNT を否定できる。

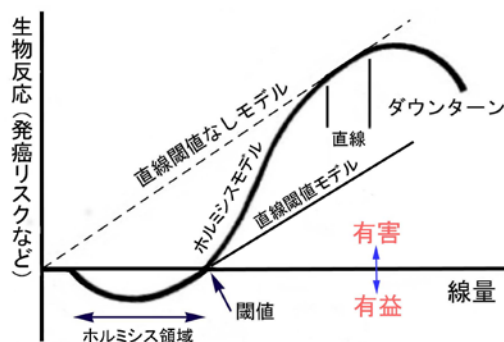


図 1. 閾値に関する 3 つのモデル

直線閾値なしモデル(LNT)：鎖線

直線閾値モデル(LNT)：細線

ホルミシスモデル：太線

(J 字型あるいはシグモイド状)

2) マラーとロックフェラー財団による直線閾値なしモデル(LNT)の導入

1927 年、マラーはショウジョウバエに高線量の X 線を照射し、遺伝的な影響を見出した[2]。この論文には実験材料と方法、実験データ、引用文献がなく、検閲もなかったようだ [3]。後に実験内容を開示したが、それによると 42 分間に 30 Gy という自然線量の 20 万倍を照射し、自然頻度の 150 倍の変異が生じた。

ロックフェラー財団 (RF 財団) はスタンダード石油を母体とする。原子力エネルギーが将来、石油・石炭に取って代わるだろうとの予測に危機感を抱き、放射線は限りなく危険と唱えるマラーを味方につけようと、ことあるごとにマラーを支援した。1943 年のマンハ

ッタン計画では原爆製造のほか、放射線の生物影響も詳しく調べられ、閾値ありのデータが得られた。通常、モデルが実験データを説明できない時、モデルが誤りとして新たなモデルを立てるが、マラーはモデルを守るため、データの方が誤りとして切り捨てた。原爆投下の翌 1946 年、RF 財団の支援もあり、彼はノーベル賞をうけた。受賞講演では閾値ありのデータを無視して、放射線の遺伝的影響に閾値がないと断言した[4]。

RF 財団は共和党と懇意で、1953 年、アイゼンハワーが大統領になるとネルソン・ロックフェラーは側近となり、放射線を貶める計画を練った。米国科学アカデミー(NAS)の議長、ロックフェラー大学の学長、RF 財団の理事であるブロンクに実施を委ねた。彼は NAS 内に遺伝学委員会を設けた。委員にはマラーの友人や弟子が多く、委員会はマラーが牛耳った。RF 財団は NAS や有力なメンバーに巨額の資金を提供した。1956 年 6 月 12 日、委員会は LNT を勧告した[5]。翌 6 月 12 日ニューヨークタイムズ紙は 1 面で放射線は危険、人類の遺伝子が危ないと報じた。他紙も追随した。NAS は LNT の根拠を求められたが開示を拒否した（もとよりデータはなかった）。

3) 米国科学アカデミー (NAS) による LNT を支持するという BEIR VII 報告の検証

2006 年、NAS は広島・長崎の被爆者の生涯調査結果が LNT を支持するという BEIR VII 報告書を発表した[6]。その報告書には幾つかの誤りがみられる。1) 原爆後に入市した人々を 0 被曝、0 リスクとして比較の対照としているが、入市者は残量放射線をかなり浴びているので[7]、対照とするのは根本的に誤っている。2) 白血病も固形癌も用量相関は直線-二次曲線に従うが、直線との間に有意差がないから直線であると我田引水を行なっている。3) 2 Sv 以上では癌になる前に死亡することがあるので、癌リスクも低減傾向を示す(ダウンターン)が、これを隠匿するように 2 Sv 以上は図示していない。4) 100 mSv 以下をまとめて 1 点で表し、あたかも 0 点に収斂するかのような印象を与えている。一まとめにするのは統計学の初歩的なまやかしの常套手段という。

比較対照群を設けることなくデータを次々と加えて行き、結果から原因を推定するベイズ法により被爆者の生涯調査を解析すると、閾値もホルミシスも見られる[8]。したがって、BEIR VII 報告書は LNT を支持するとはいえない。

5) 科学に基づかない LNT がなぜ維持されるのか

広島・長崎の生涯調査は 20 万人の犠牲者を伴った世界唯一の貴重なデータである。その結果は閾値もホルミシスもある、すなわち、LNT は誤りであることを示している。NAS は 1956 年に LNT を勧告した。これを死守すべく BEIR VII 報告を発表したが、これはデータを曲解しているといえる。

何故、LNT を死守しなければならないのか。放射線規制の基本とされる LNT の誤りを認めると、これまで築き上げてきた体制、組織、職場、権威が崩壊するからであろう。で

は何故、死守できるのか？NASは科学界の最高権威であるからだ。放射線規制の元締めである国際放射線防御委員会（ICRP）は国連の報告を重視し、国連はNASの見解を重視する。関連委員会の中心人物達はNASの傘下であり、委員の重複もあり、LNTは維持されている。各国はICRPの規制に従い、日本もこれをうけて限界線量を1 mSv/年としている。これに基づき、福島事故では強制避難が実施され、多くの死者をだした。

5. 適応応答（ホルミシス）

1) 生命体による積極的防御策：適応応答（ホルミシス）

ホルミシスが働くとき生体は低線量では有益な応答をするが、防御機構を破綻させられるほどの高線量では有害となる。その本質は危険/刺激信号を受けると、将来に備え準備をすることにある。40億年の進化の歴史をとおして生体は防御機構を構築してきた。現に我々は毎秒20,000 Bqの被曝を受けているので、準備ができており、多少の放射線にはびくともしない。

耐えうる程度の放射線は生体を強化する。類似の例としてワクチン接種をあげた。転ばぬ先の杖として、筋トレを考えると分かりやすい。格言では可愛い子には旅させろとか、艱難辛苦を汝を玉にすとかいう。

2) いくつかの適応応答（ホルミシス）の例

図2はCs-137のγ線を原生動物である繊毛虫類のテトラヒメナに照射した時のホルミシスを示す[9]。γ線を遮蔽すると増殖が阻害され、照射すると細胞活性が増す。

図3はショウジョウバエにγ線を照射したときにみられたホルミシスを示す。X線を照射しても同様にホルミシスがみられる。図3はマラーの実験およびLNTを否定する。

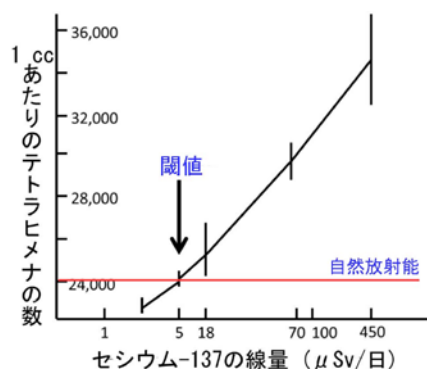


図2. 原生生物テトラヒメナに対する放射線の影響 [9]。放射線を遮蔽すると分裂が抑制され、放射線を照射すると分裂が刺激される。

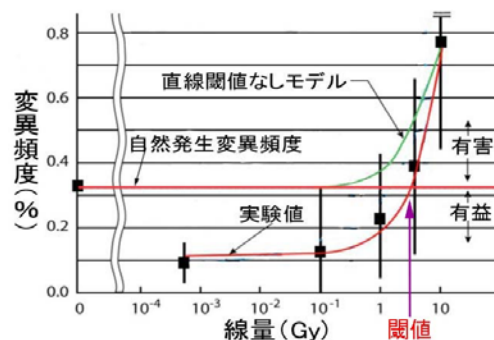


図3. ショウジョウバエに対する放射線の影響 [10]。γ線を照射すると、変異頻度はホルミシスに典型的なJ字型の用量相関を示す。

図 4 はマウスに生涯にわたりγ線を照射したときにみられたホルミシスを示す[11]。自然放射能の 170~1,700 倍の連日照射でマウスの寿命は延びる。

図 5 は室内ラドン濃度が高いほど肺癌での死亡率が下がることを示す[12]。LNT を支持する人達はこのデータを無視する。日本でもラドン温泉は人気があるが、欧米でも愛好者がいる。ギリシャ神話でイカロスが墜落したといわれるイカリア島は、ギリシャ、ローマ時代から湯治場であった。ラドン濃度が高く[13]、30%以上が 90 歳以上まで生きるという[14]。

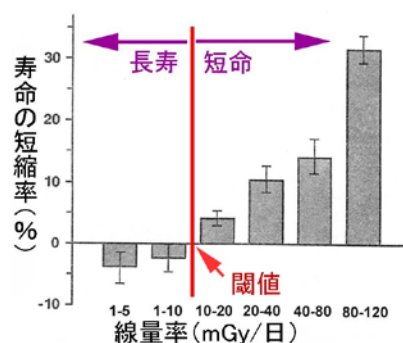


図 4. γ線のマウスの寿命に対する影響 [11]。自然放射能の 170-1,700 倍の連日照射でマウスの寿命は延びる。大量の照射では寿命は短縮する。

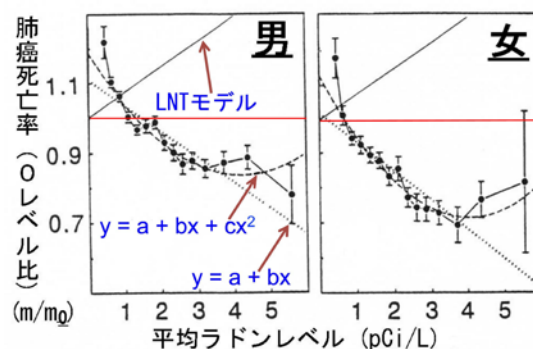


図 5. 室内ラドン濃度と肺癌による死亡率 [12]。LNT の予測とは反対に、ラドン濃度が高いほど、死亡率は低下する。

放射線影響研究所から被爆者の生涯調査の結果が報告される。その報告書から被爆者の癌死亡率を抽出し、一般日本人と比較をした(表 3) [15]。原爆後入市した者(残留放射線を被曝)の死亡率は被爆者達(原爆の放射能と残留放射線を被曝)より低く、その被爆者の死亡率は日本人の平均より低かった。この LNT の予測と矛盾した結果は、ホルミシスの効果と考えるとすぐに理解できる。癌リスクの閾値と想定される 0.5 Gy 以上を被曝した人数は約 5%、95%は 0.5 Gy 以下、すなわちホルミシス領域の被曝であった。5%は癌リスクが高く短命となるが、95%は癌が抑制されるので、平均するとホルミシスの効果が勝り、癌リスク日本人平均より低くなる。

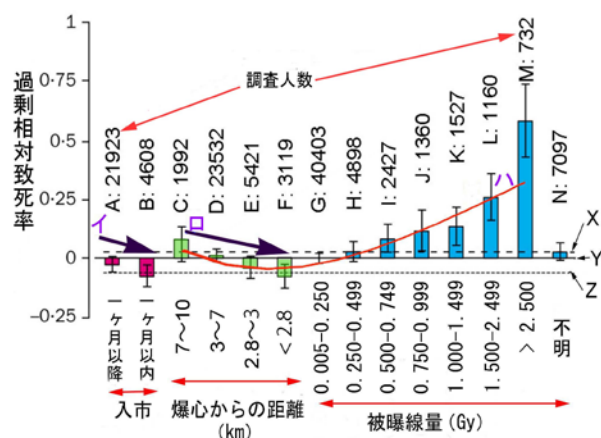
表 3. 原爆被爆者の固形癌死と日本人の癌死の比較[15]

報告者	報告年	調査期間	被爆者数 [入市者]	癌死数 (%)	日本人平均癌死 (%)
Preston ら	2007	1958-1998	105,427	17,448 (16.6)	21.4 (1958-1998)
			[25,427]	[3,994 (15.7)]	

放射線の影響を知る指標として、癌より寿命がよいといわれる。寿命は戸籍で確かな情報が得られる。原爆被爆者の被曝線量と寿命の関係を図 6 に示す。非被爆者のうち 1 ヶ月以内の入市者(図 6, B)は、それ以降の入市者(図 6, A)より多くの残留放射線を浴び、長生きだった(図 6, イ)。0.005 Gy 以下の被爆者は正確に分類できないので、爆心地からの距離で 4 群(図 6, C-F)に分けた。すると、爆心地に近くより多くの放射線を浴びた者ほど長生きだった(図 6, ロ)。これも含めて被爆者の線量-反応相関はホルミシスに典型的な J 字曲線を示した(図 6, ハ)。Y 軸との交点が閾値とみなされ、閾値はほぼ 0.5 Gy と見積もられる。残留放射線を考慮すると、1 Gy 程度が閾値と思われる。図 6, イ, ロ, ハはある程度の放射線を浴びた方が長生きであることを示しており、放射線と寿命の関係にはホルミシスがあるといえる[15]。

図 6.被爆者の過剰相対致死率[15]

A: 1 ヶ月以降入市の非被爆者; B: 1 ヶ月以内入市の非被爆者; C-F: 被曝線量が 0.005 Gy 以下で爆心からの距離が 7-10 km (C)、3-7 km (D)、2.8-3 km (E)、<2.8 km (F); C-M: 異った被曝線量群、N: 線量不明。A-N の上の数値は人数。X: C-D ($n = 25,524$)の、Y: 被爆者 C-F ($n = 34,064$)の、Z: E-F ($n = 8,540$)の過剰相対致死率の平均。0 点より上に行くほど短命で、下にくると長寿となる。



イギリスの放射線医の 100 年間 (1897-1997) の癌およびそれ以外の死因が解析された[16]。1920 年に英国 X 線安全委員会ができ、X 線の弊害に注意が喚起されたので、その前後に分けて要点を抽出して表 4 に示す。1920 年以前は癌による死亡が多かったが、癌以外

の死亡が減ったため、全体として死亡率は少なめである。1920 年以降は癌死が増えず、それ以外が減少したため。全体としての死亡率は減っている。それ以降は増えていない。

表 4. 1897-1997 の 100 年間に於ける英国放射線医の癌とそれ以外の死因[16]

死因	1897-1920 年			1920-1997 年		
	観測値(O)	予測値(E)	O/E 比	観測値(O)	予測値(E)	O/E 比
全癌	60	34.20	1.75***	168	161.89	1.04
癌以外	230	266.30	0.86*	574	666.74	0.86***
合計	290	300.50	0.97	752	828.63	0.91**

対照は英国、ウェールズの放射線医以外の医師 *p<0.05; **p0.01; ***p0.001.

アメリカの原子力造船所で働く労働者の死亡率が調査された[17]。対照は同じ職場の事務系の人たちである（表5）。被曝者をさらに0.5～、1～、5< に3分類すると1,000人あたりの死者は6.7、6.6、5.9となり、やはり高被曝者で低くなった。被曝者は全体に死亡率が24%低くなり、寿命は2.8年延びた。このデータはLNTには真つ向から反するものである。

表5. 原子力造船所の労働者の死亡率[17]

	高線量 (5 mG<)	低線量 (5 mG>)	対照
労働者数	27,872	10,348	32,510
死亡数	2,215	973	3,745
死者/1,000人	6.4	7.1	9.0
対照が1の時の比率	0.76	0.81	1.00

6. 適応応答（ホルミシス）の臨床応用

東北大学の坂本澄彦教授[18]は X 線を全身あるいは半身に照射するとリンパ腫に有効なことを見出した。この方法を応用してアルツハイマー病の女性とパーキンソン病の夫に CT を施したところ、著効が認められた[19]。小島ら[20] はラドンの吸入療法が結腸癌、子宮癌、癌肺、肝癌に有効なことを述べている。膵臓癌にも有効らしい。最近、1 日 2 回、1.35 Gy を 22 回照射したところ、黒色腫瘍が治癒したという報告がなされた[21]。

7. 考察

LNT は放射線はいかに微量であれ線量に応じて有害であり、被曝した線量は蓄積するとする。低線量の放射線の効果は蓄積しないことを、直感的な例で示す。(1) 睡眠薬 100錠を飲むと死ぬが、LNT は 1 錠ずつ 100 日飲むと死ぬ、あるいは 100 人が 1 錠ずつ飲むと 1 人が死ぬと予測する。1 錠飲んで翌日トイレにたてば、体はほぼ飲まない状態と同じ

に戻る。(2) 6 階から落ちると死ぬが、LNT は階段を 1 段ずつ降りても死ぬと予測する。位置エネルギーは小出しにすれば蓄積されてゆかない。LNT は 1 Gy を 100 人に照射すると 5 人が癌で死ぬという。0.1 Gy を 1,000 人に照射するとやはり 5 人が癌で死ぬと予測する。実際には 0.1 Gy の照射で癌リスクは減り、寿命は延びる (図 6)。

生体には防御機構があり、放射線の作用を瞬時に無害化し、算盤でいうところの「ご破算で願いましは」の状態に戻す。よって、作用は比例せず、蓄積しない。それどころか、ホルミシス効果で健康増進、治療に役立つ。

LNT は罪深い。(1) 人々の命を守るためと称し、不要の低線量を規制し、多数の死者をだした。LNT 擁護派の人達は放射線を厳しく規制する分には弊害はないと主張するがとんでもない話で、無害なものを規制することの愚かさ、危険性をしっかりと認識すべきである。(2) LNT が医学会の公的見解であり、放射線ホルミシスを利用したアルツハイマー病、パーキンソン病、痴呆、癌などの治療法の開発を妨害している。これからの高齢化社会に向けて、低線量放射線の持つ有益性を積極的に追求すべきであろう。(3) LNT は放射線恐怖症を助長し、風評被害を初め、膨大な政治的、経済的、社会的な損失を齎している。例えば、トリチウム水の貯蔵問題や、韓国の魚介類輸入禁止、使用済み燃料の保管の問題等である。

LNT 問題でいつも考えることは、限界線量の 1 mSv/年であれこれと心配するが、イランのラムサルでは 260 mGy/年の自然放射能環境下で先祖代々平気で生活していることだ。これも含め、詳しくは文庫本にまとめた[22]。

文献

- [1] Pollycove M, Feinendegen LE. Molecular biology, epidemiology, and the demise of the linear no-threshold (LNT) hypothesis. C R Acad Sci III, 322, 197-204, 1999.
- [2] Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science*, 66, 84-87, 1927.
- [3] Calabrese EJ. Was Muller's 1946 Nobel Prize research for radiation-induced gene mutations peer reviewed? *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine* (2018) 13:6. [<https://doi.org/10.1186/s13010-018-0060-5>]
- [4] Muller HJ. [http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1946/muller-lecture.html]
- [5] Anonymous. Genetic effects of atomic radiation. *Science*, 123, 1157-64, 1956.
- [6] Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII -

- Phase 2 [http://www.philrutherford.com/Radiation_Risk/BEIR/BEIR_VII.pdf]
- [7] Sutou S. Rediscovery of an old article that the area around the epicenter in Hiroshima was heavily contaminated with residual radiation, indicating that exposure doses of A-bomb survivors were largely underestimated. J. Radiat. Res., 58, 745-754, 2017.
[<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5737566/pdf/rrx029.pdf>]
- [8] Furukawa K, Misumi M, Cologne JB, Cullings HM. A Bayesian semiparametric model for radiation. dose-response estimation. Risk Analysis:1-13, 2015. DOI: 10.1111/risa.12513.
- [9] Luckey TD. Ionizing radiation promotes protozoan reproduction. Radiat Res, 108, 215-21, 1986.
- [10] Cuttler JM. Nuclear energy and the LNT hypothesis of radiation carcinogenesis.
In Fukushima Nuclear Accident: Global Implications, Long-Term Health Effects and Ecological Consequences, ed. by Sutou S et al., Nova Sciences Publishers Inc., New York, pp. 27-60, 2015.
- [11] 島田義也, 荻生俊昭. 寿命に及ぼす低線量率放射線連続照射の影響-その文献的考察 <II>. 放射線科学, **35**, 378-383, 1992.
- [12] Cohen BL. Lung cancer rate vs. radon level in U.S. counties of various characteristics. Health Phys, 72, 114-119, 1997.
- [13] Stefanadis CI. Unveiling the Secrets of Longevity: The Ikaria Study. Hellenic J Cardiol, 52, 479-480, 2011.
- [14] Trabodpu G, Florou H. Estimation of dose rates to humans exposed to elevated radioactivity through different pathways in the island of Ikaria, Greece. Radiat Protect Dosimet, 142, 378-384, 2010.
- [15] Sutou S. Low-dose radiation from A-bombs elongated lifespan and reduced cancer mortality relative to un-irradiated individuals. Genes and Environment

volume 40,

Article number: 26 (2018) [<https://doi.org/10.1186/s41021-018-0114-3>]

[16] Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 years of observation on British

radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. Br J Radiol, 74,

507-519, 2001.

[17] Sponsler R, Cameron JR. Nuclear shipyard worker study (1980-1988): a large cohort

exposed to low-dose-rate gamma radiation. Int. J. Low Radiation, 1, 463-478, 2005.

[18] Sakamoto K (2004) Radiobiological basis for cancer therapy by total or half-body

irradiation. Nonlinearity Biol Toxicol Med 2: 293-316.

[19] Cuttler JM, et al. Second update on a patient with Alzheimer disease treated

by CT scans. Dose-Response: January-March 2018:1-2. 311-312.

[20] Shuji Kojim, et al. Radon therapy is very promising as a primary or an adjuvant

treatment for different types of cancers: 4 case reports. Dose-Response: April-June 2019:1-9.

[21] Norman H. Anderson, Julie B. Arcaro. Twice-daily radiation for metastatic malignant melanoma: a different approach resulting in a significant response. Cureus, DOI: 10.7759/cureus.4161

[22] 須藤鎮世, 福島へのメッセージ 低線量放射線がもたらす長寿と制癌. 幻冬舎, 東京, 2019.