

9

放射線の生物影響に関する最も基本的な概念である「直線—しきい値無し（LNT）仮説」の起源とその問題点について

京都大学

名誉教授 内海 博司

放射線の規制の基準となるのは低線量での健康影響の基礎的な知見であるが、その研究結果が大きな影響を持つ一方で地道な研究が続けられている。その評価の基本となる概念について、根本的な問題提起がなされており、重大な見直しにつながる可能性がある。

放射線の生物影響に関する最も基本的な概念である

「直線—しきい値無し (LNT) 仮説」の起源とその問題点について

京都大学 名誉教授

内海 博司

1. はじめに

最近、JunkScience.com という YouTube で、マサチューセッツ大学のエドワード・カラブレーズ (Edward Calabres) 教授の「直線—しきい値無し (LNT) モデルの歴史 (The History of the Linear Non-Threshold (LNT) Model of Radiation)」を視聴しました [1]。この視聴により「放射線の LNT モデル」は低線量での健康影響の基礎になる重要なモデルなのに、その基本データに根本的な問題があり「LNT モデル」の重大な見直しに繋がることを知りました。放射線生物学を専門とし DNA 修復を研究してきた私は、これまでも放射線損傷は修復されるのに、損傷は累積し、どんな低い線量にでも「直線—しきい値無し (LNT) モデル」を使うのはおかしいと思っていました。どのような経緯で LNT モデルが成立し、規制当局に採用され、堅持され続けてきたかを知る良い機会になりました。

「科学者は…と言っている」、「政府の科学者は…」、「ノーベル賞受賞者は…と言っている」といったフレーズが含まれるメディア的権威は、多くの人々にとって、これ以上の権威はないと思われるが、この YouTube は正に LNT の成立過程と、その維持過程に働いていた力が、純粋の科学に基礎を置かないメディア的な権威であったことを明らかにしていました。

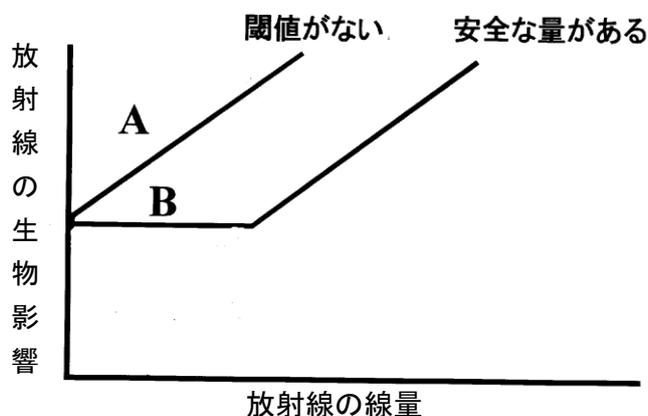


図. 放射線の生物影響の模式図

直線—しきい値無し (LNT) モデルとは、図の直線 A で、線量ゼロから放射線の線量が増えるにつれてその生物影響が直線的に増加します。現在 ICRP が採用し、放射線防護に使われているモデルです。一方曲線 B は、ある一定の線量までは影響が出ないが、ある線量 (しきい線量: 安全な線量) 以上になると直線的に増加する曲線です。

放射線誘発がんリスク評価の直線—しきい値無し (LNT) モデルも、放射線誘発突然変異の LNT モデルを採用し、化学物質に関しても米国環境保護庁 (EPA) が LNT モデルを

採用して規制が作られたことを知りました。初めて LNT が放射線安全コミュニティによって採用されたのは 1950 年代で、それもノーベル賞を受賞した科学の成果として採用され、1970 年代以降は米国環境保護庁 (EPA, US Environmental Protection Agency) がその主要なスポンサーとなり、執行者となっています。この LNT モデルを基にした規制に対して、数十年にわたり多くの科学者や放射線安全専門家達が、LNT モデルの科学的妥当性や、EPA の厳格かつ頑固な LNT の適用に関して疑問を投げかけてきました。

2. 情報公開法によって得た「電子メール」の暴露

2022年7月、JunkScience.com は「LNTモデル」の維持に腐心している一部科学者や官僚機構の黒い内部構造を示す「電子メール」を、情報公開法(FOIA, the Freedom of Information Act)によって取得し公開しました[2]。これによって、関係者等がいかなる科学的根拠も無いにもかかわらず、なぜLNTを使用続け、その規制の維持に腐心しているかが暴露されました[2]。

この暴かれた電子メールは、4月に発表したカラブレーズ博士のビデオ・シリーズ[4]を傷つけ、現在の米国のHPSが反LNTであるとして、現在のHPS指導者層を排除する秘密キャンペーンが行われていたことを明らかにしました。後で示す米国の保健物理学会(Health Physics Society (HPS))のホームページ[3]と、2022年4月14日に公開されたビデオ・シリーズ[4]とを視聴すれば、彼らの行動原理が理解できると思われます。そしてLNTと放射線の安全性に関して、社会に不当な負担を与え、誤解を与えてきた知的及び道徳的腐敗が現在も続いていることを顕しています。このことは、リスク評価におけるLNTモデルの妥当性に関する問題以上に重大な問題であると思われます。

3. カラブレーズ博士のLNTの起源の研究

カラブレーズ博士は、過去数十年にわたりLNTの起源と歴史について驚くほど詳細な研究を行ってきました[6, 7, 8]。彼の研究によって、LNT誕生の真実とその誕生にまつわる組織的および個人的重大な偏見、有名な科学雑誌「サイエンス(Science)」による非倫理的な編集慣行、及び放射線遺伝学コミュニティのリーダーによる科学的記録の意図的な虚偽表示に基づいていることも明らかにされました。これには米国科学アカデミー(NAS, National Academy of Sciences)の「原子放射線の生物学的影響」(BEAR, Biological Effects of Atomic Radiation)の遺伝学委員会も深く関わったことが暴かれています。彼ら一流の放射線科学者が、自分たちの偏った「がんリスクの評価」の見解を確実に採用させるために、がん研究の成果を隠蔽していたことも明らかにしています[9, 10, 11]。そして裏付けとなる科学的データが無いにもかかわらず、LNTが低線量/低用量被ばくに採用されていたことで、LNTを低線量/低用量被ばくに適用することが、もはや「科学」とは呼べないことを明らかにしました。

特にカラブレーズ博士は、現在のように原子力や原子力事故、更には医療用の検査にまで過度の恐怖を感じさせているのは、LNTを使用することから生まれていると考えています。こうした放射線に対する恐怖自体が、例えば2011年の福島原発事故において放射線で直接死亡した人はいなかったのにも拘わらず、その後のパニック的な避難で1,600人以上が死亡する事態を招いたと考えています。

4. ノーベル賞受賞者マラー博士のショウジョウバエの実験

このYouTubeは、LNTモデルの発端がショウジョウバエを使って人為突然変異を引き起こしたとしてノーベル賞を受賞し超有名になった科学者ハーマン・J・マラー(Hermann Joseph Muller)博士であることを明らかにしています。マラーのノーベル賞受賞研究は、査読も受けずにサイエンス誌に掲載されていました[12]。この論文には、データも示さずに遺伝子突然変異を引き起こしたと主張し、放射線被曝が生物進化で重要な役目を果たしたとも述べられています[13, 14]。更に1946年のノーベル賞受賞講演では、自分の学生のレイ・チョードリ(S. P. Ray-Chaudhuri)のデータに言及し[15]、そのデータに問題があることを述べずに、放射線誘発突然変異の線量効果曲線は直線-しきい値無し(LNT)モデルに従うと言い切っています(“...no escape from the conclusion that there is no threshold dose...”)[7, 8, 16]。

受賞講演後、マラーは自分の遺伝子突然変異理論と LNT モデルに投げかけられた多くの科学者からの疑義を解決するため、丁度始まった原爆を造るマンハッタン計画の有給コンサルタントとなり、当時の研究責任者のカート・スターン(C. Stern)に、レイ-チョードリの発見を再現し、強化するように説得してショウジョウバエを用いた実験を行わせました。実験の目的は、総累積線量と線量率のどちらが放射線誘発性の突然変異リスクの予測因子であるかを判定することでした。しかし、ショウジョウバエが短寿命だけに、精巣や卵巣への照射実験が難しいため、しかも実験計画が適切ではなかったことからデータは出ませんでした。しかもエルンスト・カスパリ(E. Caspari)の慢性(低線量)被ばく実験ではレイ-チョードリの仮説を支持しない「しきい値のある線量曲線」を示しました。そこでスターン等はコントロール値が高すぎるからだとカスパリの結果を受け入れませんでした[7, 8, 9, 17, 18]。彼らは更に資金を得て、ウホフ(D. Uphoff)による再実験を繰り返すがレイ-チョードリを支持するような結果は出ませんでした。最終的に、彼らはサイエンス誌にマンハッタン計画で行われた5つの研究をまとめて、たった1ページの論文を掲載しました[19]。しかも詳細なデータは後で報告すると書かれていましたが、その後、データの発表は一切ありませんでした。

しかし、このデータは明らかに線量率効果を示したにもかかわらず不思議なことに、このウホフとスターンの論文がマラーの LNT モデルを強化するのに使われました。1955年には米国のNASは、ロックフェラー財団から資金提供を受け、BEAR1 遺伝学委員会を立ち上げ、1956年にはLNTモデルを支持する報告書を出しました[20]。どんなに低い放射線量であっても、全ての放射線量は遺伝子突然変異を引き起こし、その遺伝子損傷は累積的で、不可逆的で、修復不可能であり、直線-しきい値無しの線量反応につながるという信念が宣言されました[6, 9]。

5. ラッセルのメガマウス実験が何故無視されたか

1958年のマンハッタン計画では、マウスを使ったもう一つの生物実験が行われました。メガマウス実験と呼ばれる100万匹ほどのマウスを使ったウィリアム・ラッセル(W. L. Russell)の実験で、明らかに線量率効果を見だし、生物は放射線損傷を修復することを明らかにしました[21]。しかし雌のデータは低線量域で突然変異は増加していないが、雄では線量に比例して増加していました。その結果、雌のデータは無視されマウスの雄のデータはLNTに合っているとマラーの画策で、ラッセルのデータは使われず、ヒトのリスク評価モデルには、「マウス」でなく「ハエ」を用いて、ハエの研究で裏打ちされたとする「直線-しきい値無し(LNT)モデル」が採用され、放射線のLNTモデルが誕生することになりました。

ラッセルのマウス実験は線量率の差を明らかにする綿密で詳細な計画でした。急性照射は250kvpのX線90R/minを、低線量率照射は γ 線0.009R/minを用いて、線量率が10,000倍も異なる照射実験を行いました[21]。1960年には線質の違いを解消すべく24R/minのCo60の γ 線による急性被ばく実験も行いました[22]。更に1963年にはX線を用いて90R/min及び9R/minの線量率の異なる照射実験も行い、線量率効果を発見して、生物は損傷した遺伝子を修復する能力を持つこと等を明らかにしました[23]。しかし、ノーベル賞受賞者マラーの存命中には認められず、1967年に彼が亡くなってから、ラッセルはマウスを使った広範な研究に基づいて、損傷は累積的でなく修復可能であり、低線量率では線形の線量反応はしないとして、マラーのLNTモデルを真っ向から批判しました[24]。ほぼ25年後にポール・セルビー(P. B. Selby)が、ラッセルのマウス雄のコントロール値に重大な誤りを発見し、ラッセルと激しい論争の後、その記録は訂正されました[24, 25]。この修正の結果、雄においても雌と

同様に低線量域では突然変異は増加しない「しきい値ありモデル」を支持していることが判明しました。もしこの修正が早く行われていたら 1970 年の BEIR 遺伝学委員会の結論も変わっていたかも知れません[6]。

6. 放射線誘発がんリスク評価の直線-しきい値無し(LNT)仮説の採用

その頃、原爆生存者に関する未公開データにアクセスしたエドワード・ルイス(E. B. Lewis)が、原爆生存者の白血病のデータを解析しサイエンス誌に発表しました[9, 26]。この論文はマスコミが大きく取り上げ、議会でも取り上げられ高く評価され、この功績によりルイスは 1958 年に国家放射線防護測定委員会の委員になりました。そして突然変異ばかりでなく放射線誘発がんのリスク評価にも LNT モデルが採用されることになりました[27, 28]。その後ルイスは LNT を支持するように研究記録の意図的な虚偽表示や、この分野の専門的知識の欠如等で批判されました[26, 28]。しかも、その後の原爆の線量再評価の結果、原爆生存者の白血病のデータはむしろ「しきい値ありモデル」に合うことが判明したが、LNT モデルの使用は続けられています [29]。LNT モデルの歴史的な経緯が示すように、LNT は現実の観察や実験室のデータには基づかず、正当な科学の産物ではなく、むしろ「科学政策」と呼ばれる、科学における知識のギャップや不確実性を埋めるために作られた恣意的な政治的な「仮定」とであると判断されます。しかし、この LNT は堂々と現実の規制のリスク評価に使用されています。

7. 終わりに――米国の保健物理学会の対応

マラーが主張した放射線損傷は修復されず、累積するという虚構の構築によって、放射線や原爆の恐ろしさを多くの科学者や一般の人々を恐れさせた功罪は大きいです。但し、放射線管理をする側には素晴らしい指針を提供してきたと言えます。しかし、その弊害は長崎広島原爆、チェルノブイルや福島事故でのパニックを起こす原因にもなっています。物理学者寺田寅彦氏の「正当に怖がることはなかなか難しい」という前に、この低線量放射線の LNT モデルをどうするか、研究者達は明らかにすべきでしょう。参考のために、下記のことを付け加えておきます。

現在、米国の保健物理学会(Health Physics Society (HPS))のホームページには、「直線-しきい値無し(LNT)モデルの歴史」と銘打って、下記の様なアナウンスがされています。

注:米国保健物理学会は、このビデオシリーズの 22 エピソード[4] 全てを視聴すると、認定保健物理学者には 10 の継続教育単位を事前承認しています。シリーズを視聴した後、再認定のために継続教育クレジットを提出する場合は、事前承認参照コード 2022-04-21-185 を使用して下さい。更に 22 のエピソードの概略ビデオも記載されています[5]。

国際社会は放射線防護システム全体の見直しに着手しています。米国の保健物理学会(HPS)は、がんリスク評価の直線-しきい値無し(LNT)モデルに基づいた現在の防護哲学の歴史的基礎を説明する一連のビデオを提供して、この取り組みに貢献します。HPS は、この分野で最も物議を醸している LNT モデルの歴史を検証するため、この一連のビデオを作成しました。約 10 時間に及ぶ 22 のエピソードを視聴すれば、学術機関では教えられていないお話しが展開していることが分かります。このビデオはカラブレイズ博士による 40 年にわたる研究と数千の文書や出版物によって裏付けられています。このお話では、ノーベル賞受賞者、倫理的および道徳的課題、核放射性降下物、科学的偏見、科学組織に対する資金の影響、政府が行う政策の展開などが含まれています。ここで学ぶことは重要であり、がんのリスク評価や関

連する政府の政策において LNT モデルから離れることを正当化させる可能性さえあります。この論文と付随するビデオシリーズの目的は、がんリスク評価の LNT モデルの使用を支える歴史的基盤について科学界に知らせることです。

このビデオシリーズ及び裏付けの文章は、科学的不正行為と科学雑誌 (Science) の責任者が査読することなく論文を掲載させたという欺瞞に満ちた LNT の成立過程の歴史も明らかにしています。私たちの協会及び他の国際機関は、LNT モデルへの依存は恐怖を助長し、環境浄化のコストを増加させ、がんの発症に対する不等な恐怖により潜在的に命を救うべき健康診断を受ける意志決定に影響を及ぼす可能性もあります。研究チームは、低線量放射線応答の科学を進歩させるための一連のステップとして推奨します。

- 最も基本的な仮説（線量の増加はリスクの増加であるという）を真の帰無仮説（影響は無い）に置き換えることにより、現在の規制モデルとがんリスクモデルを再検討する。進化生物学の原理と現在の疫学研究結果とを統合して、低用量応答の理解に勤める。
- 「合理的に達成可能な限り低い」(ALALA) という規制パラダイムを再評価し、そのメリットを科学的根拠に基づいて判断する (例えば、100mSv/y または 50mSv/y 以上) ことにより、LNT モデルを適用することで、放射線防護を調和させる。
- 欠陥のあるイデオロギー科学ではなく、進化生物学の原則と現在の疫学研究結果を統合させて、最適化された公衆衛生の保護規制を提供する。

米国の保健物理学学会がこのようなビデオやアナウンスを出していたので、日本の保健物理学学会にも何か変化が起きているかと、そのホームページを覗いたが、何もないことに本当に驚いています。

謝辞：これらの文献を送って下さった須藤鎮世就実大学名誉教授に感謝します。

参考文献・資料

- [1] <https://nam10.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3D6NnKVWzqVW8&data=05%7C01%7Cedward%40schoolph.umass.edu>
- [2] Emails Reveal_ Bureaucrats censor radiation risk science fraud by cancelling whistleblowers%3b Huge implications for nuclear power and more - JunkScience.com.html
- [3] <http://hps.org/hpspublications/historylnt/index.html>
- [4] <https://www.youtube.com/@healthphysicssociety5037/videos>
- [5] <http://hps.org/hpspublications/historylnt/episodeguide.html>
- [6] Calabrese EJ. The linear no-threshold (LNT) dose response model: A comprehensive assessment of its historical and scientific foundation. *Chem-Biol Inter.* 2019; 301, 6-25.
- [7] Calabrese EJ. Key studies to support cancer risk assessment questioned. *Environ Mol Mut.* 2011; 52(8) 595-606.
- [8] Calabrese EJ. How the US National Academy of Sciences misled the world community on cancer risk assessment: new findings challenge historical foundations of the linear dose response. *Arch Toxicol.* 2013; 87 2063-2081.
- [9] Calabrese EJ. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith. *Environ Res.* 2015; 142, 432-442.

- [10] Calabrese EJ. Ethical failures: The problematic history of cancer risk assessment. *Environ Res.* 2020; 193,110582T.
- [11] National Academy of Sciences (NAS)/National Research Council (NRC). The Biological Effects of Atomic Radiation (BEAR) : A report to the public. Washington, DC, NAS/NRC. 1956.
- [12] Muller HJ. Artificial transmutation of the gene. *Science.* 1927; 66,84–87.
- [13] Muller HJ. The method of evolution. *Sci Mon.* 1929; 29,481–505.
- [14] Muller HJ. Radiation and genetics. *Amer Nat.* 1930; 64,220–251.
- [15] Ray-Chaudhuri SP. The validity of the Bunsen–Roscoe law in the production of mutations by radiation of extremely low intensity. *Proc R Soc Edin.* 1944; 62,66–72.
- [16] Muller HJ. The production of mutations. Nobel Lecture, 1946. Nobleprize.org (<http://www.nobelprize.org/nobelprizes/medicine/laureates/1946>). 1946.
- [17] Caspari E, Stern C. The influence of chronic irradiation with gamma-rays at low dosages on the mutation rate in *Drosophila melanogaster*. *Genetics.* 1948; 33,75–95.
- [18] Spencer WP, Stern C. Experiments to test the validity of the linear R-dose mutation frequency relation in drosophila at low dosage. *Genetics.* 1948; 33,43–74.
- [19] Uphoff D, Stern C. The genetic effects of low intensity irradiation. *Science.* 1949; 109,609–610.
- [20] National Academy of Sciences (NAS)/National Research Council (NRC). The Biological Effects of Atomic Radiation (BEAR) : A report to the public. Washington, DC, NAS/NRC. 1956.
- [21] Russell WL, Russell LB, Kelly EM. Radiation dose rate and mutation frequency. *Science.* 1958; 128(3338),1546–1550.
- [22] Russell, W.L., Russell, L.B., Kelly, E.M., Dependence of mutation rate on radiation intensity. Symposium on “immediate and low level effects of ionizing radiation” , Venice 1959, Intern J Rad Biol, Supplement 1960, 311-320.
- [23] Russell, W.L., The effect of radiation dose rate and fractionation on mutation in mice. In: Sobels, F. (Ed.), Repair from Genetic Radiation. Pergamon Press, Oxford, 1963; pp. 205–217, 231–235.
- [24] Russell WL. Mutagenesis in the mouse and its application to the estimation of the genetic hazards of radiation. In: Advances in Radiation Research, Biology and Medicine; Editors JF Duplan, A Chapiro; Gordon and Breach Science Publishers, New York NY, 1973, pp.323–334. 38.
- [25] Selby PB. The Selby–Russell dispute regarding the non-reporting of critical data in the mega-mouse experiments of D. William and Liane Russell that spanned many decades: What happened, current status, and some ramifications. *Dose Response* 2020; 18,1559325819900714.
- [26] Lewis EB. Leukemia and ionizing radiation. *Science.* 1957;125,965–972.
- [27] Calabrese EJ. LNT and cancer risk assessment: Its flawed foundations, Part 1: Radiation and leukemia: Where LNT began. *Environ Res.* 2021;197,111025.
- [28] Calabrese EJ. LNT and cancer risk assessment: Its flawed foundation, Part 2: How unsound LNT science became accepted. *Environ Res.* 2021;197,111041.

[29] Cuttler JM, Calabrese EJ. What Would Become of Nuclear Risk if Governments Changed Their Regulations to Recognize the Evidence of Radiation's Beneficial Health Effects for Exposures That Are Below the Thresholds for Detrimental Effects? Dose Response. 2021; 19(4):15593258211059317.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34880717>

講演者略歴



内海 博司 (うつみ ひろし)

所 属 (公財) 体質研究会 主任研究員、京都大学 名誉教授

住 所 〒606-0805 京都市左京区下鴨森本町 15 生産開発科学研究所 4F

連 絡 先 TEL/FAX : 075-702-1141/075-702-2141、E-mail: utsumi@taishitsu.or.jp

学 職 歴 京都大学 理学部 卒業 理学博士
京都大学 医学部 助手
京都大学 放射線生物研究センター 助教授
京都大学原子炉実験所教授 (京都大学大学院医学研究科及び理学研究科教授)

2004年 退官 京都大学名誉教授

現在 (公財) 体質研究会主任研究員、(公財) 京都「国際学生の家」
理事長、NPO・さきがけ技術振興会 理事長

研究・活動 1941 年生まれ。京大在職中、米国アルゴンヌ国立研究所及び米国コロラド
分野など 州立大学の Elkind 研究室に留学。専門は、放射線生物学／放射線基礎医学、
Elkind 回復の解明。著書に「細胞培養から生命をさぐる」(裳華房、1992)、
共著「放射線医科学の事典」(朝倉書店、2019) 等多数。