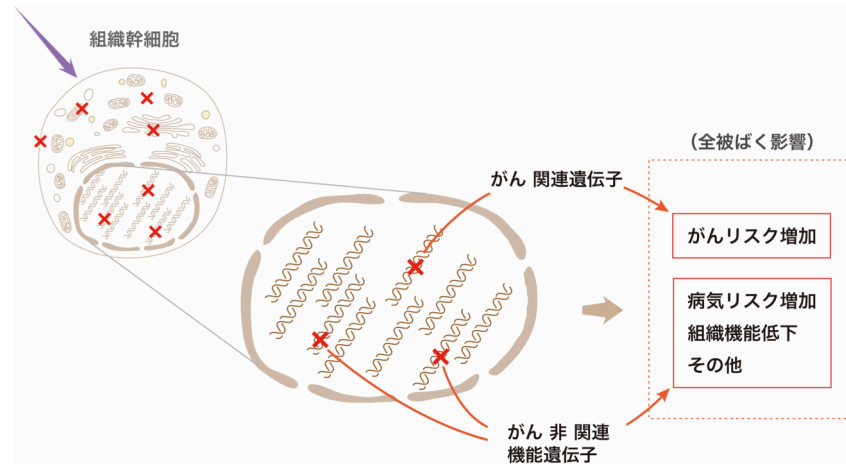


### --- CT 検査の被ばくリスク・影響の低減消去のしくみと消去までの時間---

日本低放射線協会 高橋希之

放射線被ばく影響の全体



放射線被ばく影響全体の概念図です。

幹細胞以外の細胞も被ばくしますが、～2年以内の寿命で消えてゆくため、確定的影響（組織反応）でない限り問題にはならないので、被ばく影響は幹細胞への影響です。放射線により細胞内の様々な分子や器官が損傷を受けますが、これらは常に新しい分子と置き換わるため、細胞死でも起こらない限り問題にはなりません。結局、遺伝子への影響が問題として残ります。

幹細胞の遺伝子のうち、がん関連遺伝子に突然変異が発生するとがんリスクに結びつきますが、その他の機能遺伝子に発生した場合にはがん以外の問題に結びつく可能性があります。様々な病気や組織の機能低下、老化などは、私たちの通常の人生で起こる問題ですが、生涯にわたる日常生活でこれらの機能遺伝子の突然変異が発生し蓄積していくことが原因の一つと考えられています。

幹細胞はその組織細胞を作り出す細胞であり、幹細胞に発生した突然変異はその組織細胞に受け継がれます。したがって、幹細胞の遺伝子の突然変異は組織細胞の遺伝子の突然変異になり、細胞の機能、すなわち組織の機能に問題が生じることになります。

したがって、日常生活と同様に、放射線被ばくは幹細胞の突然変異を増加させ、将来の病気、機能低下、そして老化などのリスクを高めます。

被ばくによるがんへの影響を消去するには、がんリスクの増加分だけを低減消去していけばいいのですが、被ばく影響全体を消去するには、放射線により発生する突然変異全体の増加分を低減消去する必要があります。

この方法により、被ばくによる「がんリスクの低減消去」と「被ばく影響全体の低減消去」が可能になります。

## 被ばくリスク低減消去のしくみ

組織ごとに、組織の全幹細胞による生涯の全身 DNA 複製回数とがんリスクは一次の強い相関がある（比例している）ことが示されました(Tomasetti 2015)。したがって、個人の全身の幹細胞の生涯の全身 DNA 複製回数と生涯の全身のがんリスク（全がんリスク）は比例すると考えられます。

次に、突然変異は DNA の複製時に発生する確率が高いため、生涯の全身 DNA 複製回数は全身の幹細胞の生涯の全身の突然変異数に比例すると考えられます。

したがって、「個人の生涯の全突然変異数と生涯のがんリスクは比例します。」

体全体の幹細胞にできる突然変異の数が多ければがんになる可能性が高くなるというのは、理解しやすいと思います。

以下では、体全体の幹細胞にできる突然変異数を「全突然変異」と呼び、全身のがんリスク（いろいろな組織のがんのリスクの合計）を「全がんリスク」と呼びます。また男性の場合を例に説明します。

通常の日常生活で、年齢に伴い(A)のように、全突然変異が増加します。これは全がんリスクの増加を意味し、最終的な全突然変異ががんリスク 65%に相当します。

全身の全突然変異の中にはリンパ球にできる TL（転座タイプの染色体突然変異）も含まれます。TL は体全体の突然変異（全突然変異）の一部なので、通常の生活では、(A)のように、全突然変異に連動して同じように増加していくと考えることができます。

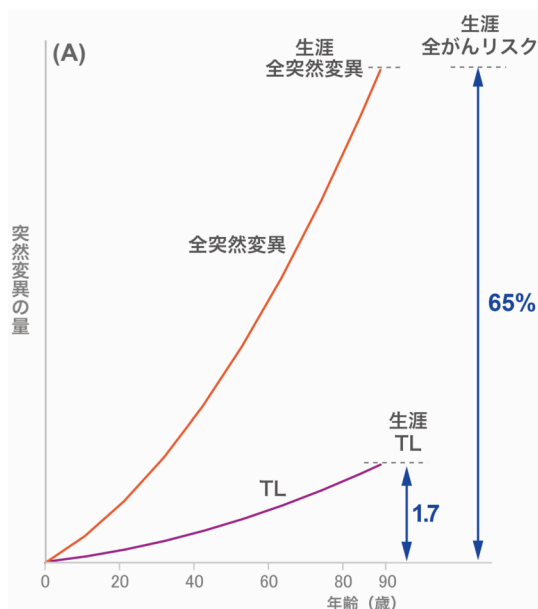
生涯（90 歳までと仮定）の全突然変異が生涯のがんリスク 65%に相当します。この時 TL 値は 1.7

になっています。すなわち、TL 値 1.7 ががんリスクの 65%に相当します。

この TL を以下のように利用することで、本リスク低減法が可能になります。

がんリスクの低減の場合には、がんリスクを測るための道具として TL を用います。

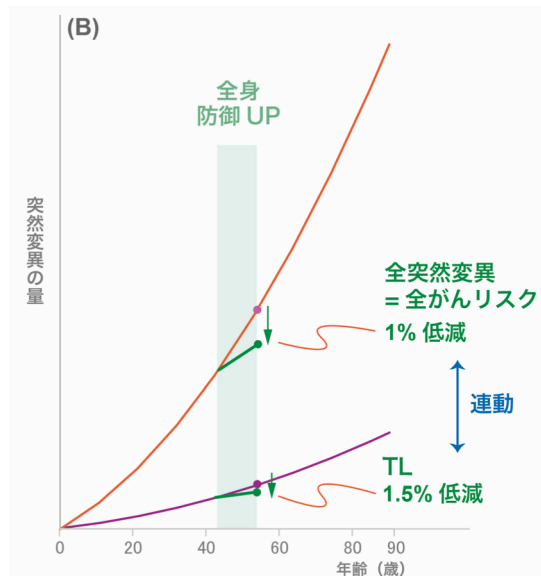
被ばく影響の低減の場合には、TL 自体を低減します。（提案書にはこの方法を記載しています。）



## 「がんリスクの低減消去」

がんリスクが低減すべきターゲットです。

DNA 防御機能を向上させると、全突然変異（＝がんリスク）が低減することは間違いありませんが、がんリスクの低減を直接に知ることはできないため、TL を用いて間接的にがんリスクの低減を追跡します。

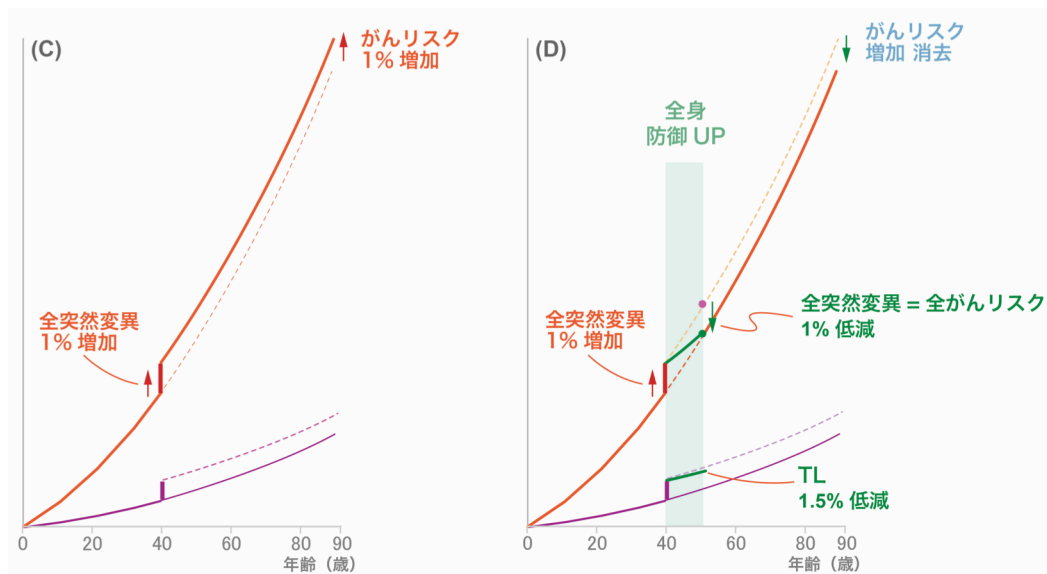


DNA 防御機能を向上させて、全身の突然変異を低減する行為をおこなう場合、全突然変異（＝全がんリスク）と TL は連動して低減すると予測できます。

しかし、低減効果が 1:1 の関係にあるとは限りません。実際の集団の TL の低減とがんリスクの低減のデータからは、がんリスクの低減率は TL の低減率の 0.67 倍と見積もられます。すなわち、TL が 1.5% 低減するときには、がんリスクは 1% 低減することになります (図 (B))。

例えば、がんリスクが 90 歳までの生涯リスクで 1% 増加した時、その増加分を消去するには、生涯リスクで 1%、すなわち、90 歳の時点の TL で 1.5% 低減できれば良いことになります。

これが、本リスク低減法によるがんリスク低減消去のしくみです。



ここで、被ばくにより、がんリスクが 1% 増加する場合、それは全突然変異が増加して全がんリスクが 1% 増加したことを意味します (図 (C))。このままなら増加分を生涯持ち続けることに

なります。そこで、この1%の増加分を低減消去するために、全身の防御をUPします。すると日常生活での全身の突然変異の増えるペースが減少し（図(D)のがんリスクの緑線）、TL も同時に連動して低減して行きます（図(D)の TL の緑線）。

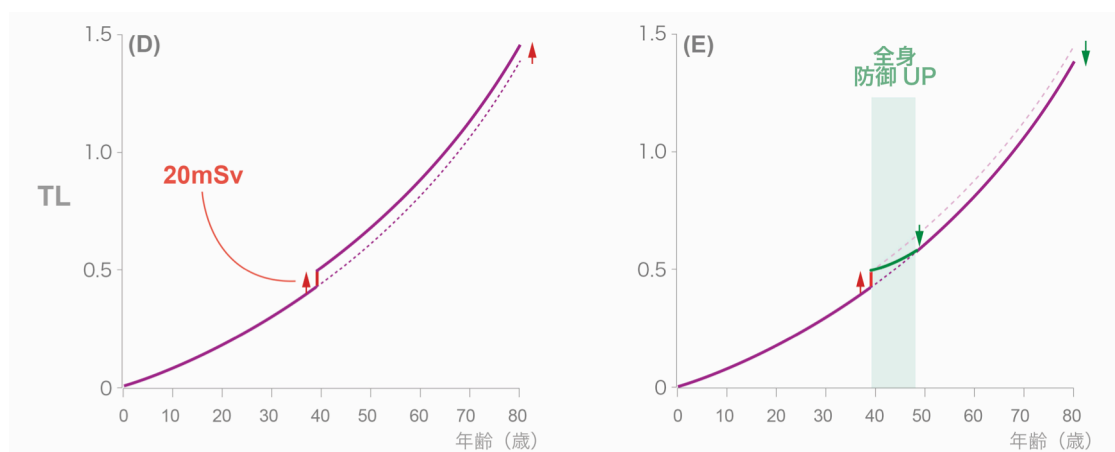
TL が 1.5%分低減した時に、全がんリスクは 1%低減しているはずですが。こうして、TL を追跡して 1.5%分低減した時に、全突然変異（＝全がんリスク）が 1%低減し、被ばくによるがんリスクの増加分は消去されます。

### 「被ばく影響全体の低減消去」

この場合、TL はがんリスクの低減を知るための道具ではなく、TL 自体が低減すべきターゲットです。

TL は放射線による突然変異（クラスター突然変異）全体の代表であり、TL の低減は放射線による突然変異を総合的に低減していると考えられます。DNA 防御機能の向上により TL が低減することで、放射線による他のタイプの突然変異もすべて低減すると考えられる理由は、TL は放射線により発生する様々な突然変異のうち最も危険で最も修復が難しい突然変異であり、TL を防御低減できるということはそれ以外の突然変異はより効率良く防御低減できると考えられるからです。

したがって、被ばくにより増加した TL と同じ量の TL を低減することが、被ばく影響そのものを



低減することになります。

過去の被ばくにより発生した突然変異そのものはどうにもできませんが、その後の日常生活で、被ばくによる突然変異と同じものを低減すれば、被ばく影響そのものを低減消去するのと同じ効果を得ることができるというのがこのしくみです。

以下に、この方法でリスク低減をおこなった場合の、消去までに必要な時間の見積もりの一例を示します。

## CT 検査によるがんリスク・影響消去までの時間

### がんリスク（全がんリスク）

被ばく時年齢 ( 歳 )	到達年齢 ( 歳 )	CT 検査部位	実効線量 (mSv)	全がんリスク 増加分 (%)	全がんリスク 消去まで ( 年 )
10	20	頭部	1.4	0.0017	<b>0.4</b>
		胸部	7.0	0.0084	<b>2.1</b>
		腹部 - 骨盤	10.0	0.0121	<b>2.9</b>
	30	頭部	1.4	0.0017	<b>0.4</b>
		胸部	7.0	0.0086	<b>1.8</b>
		腹部 - 骨盤	10.0	0.0123	<b>2.5</b>
	90	頭部	1.4	0.0301	<b>0.3</b>
		胸部	7.0	0.1506	<b>1.5</b>
		腹部 - 骨盤	10.0	0.2152	<b>2.1</b>
30	90	頭部	1.5	0.0212	<b>0.1</b>
		胸部	9.4	0.1326	<b>0.7</b>
		腹部 - 骨盤	14.5	0.2045	<b>1.1</b>
60	90	頭部	1.5	0.0113	<b>0.05</b>
		胸部	9.4	0.0709	<b>0.3</b>
		腹部 - 骨盤	14.5	0.1093	<b>0.5</b>
60	90	胸部 6 回	56.4	0.4253	<b>1.7</b>
		腹部 - 骨盤 6 回	87.0	0.6560	<b>2.7</b>
60	90	(任意の部位)	100.0	0.7540	<b>3.1</b>

### 部位がんリスク

被ばく時年齢 ( 歳 )	到達年齢 ( 歳 )	CT 検査部位	CTDI vol (mGy)	部位がんリスク 増加分 (%)	部位がんリスク 消去まで ( 年 )
10	20	胸部 (肺)	13	0.001	<b>2.0</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	15	0.009	<b>18.6</b>
	30	胸部 (肺)	13	0.090	<b>1.6</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	15	0.413	<b>11.6</b>
	90	胸部 (肺)	13	0.015	<b>1.0</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	15	0.359	<b>3.5</b>
30	90	胸部 (肺)	13	0.023	<b>0.8</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	18	0.043	<b>2.3</b>
60	90	胸部 (肺)	13	0.041	<b>1.1</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	18	0.045	<b>1.8</b>
70	90	胸部 (肺)	13	0.050	<b>1.5</b>
		腹部 - 骨盤 (大腸)	18	0.045	<b>2.1</b>
60	90	胸部 6 回 (肺)	78	0.247	<b>6.3</b>
		腹部 - 骨盤 6 回 (大腸)	108	0.270	<b>10.5</b>

### 被ばく影響全体

被ばく時年齢 ( 歳 )	CT 検査部位	実効線量 (mSv)	全身換算被ばく影響 消去まで ( 年 )	部位の被ばく影響 消去まで ( 年 )
6	頭部	1.4	<b>1.3</b>	<b>52.2</b>
	胸部	5.0	<b>4.5</b>	<b>11.8</b>
	腹部 - 骨盤	7.5	<b>6.6</b>	<b>13.2</b>
10	頭部	1.4	<b>1.1</b>	<b>42.9</b>
	胸部	7.0	<b>5.2</b>	<b>9.6</b>
	腹部 - 骨盤	10.0	<b>7.2</b>	<b>10.8</b>
15	頭部	1.4	<b>0.9</b>	<b>34.9</b>
	胸部	8.0	<b>4.9</b>	<b>7.9</b>
	腹部 - 骨盤	12.0	<b>7.1</b>	<b>8.9</b>
30	頭部	1.5	<b>0.6</b>	<b>31.8</b>
	胸部	9.4	<b>3.8</b>	<b>5.2</b>
	腹部 - 骨盤	14.5	<b>5.7</b>	<b>7.1</b>
60	頭部	1.5	<b>0.5</b>	<b>24.7</b>
	胸部	9.4	<b>3.0</b>	<b>4.1</b>
	腹部 - 骨盤	14.5	<b>4.6</b>	<b>5.6</b>
60	胸部 6 回	56.4	<b>16.6</b>	<b>22.9</b>
	腹部 - 骨盤 6 回	87.0	<b>24.6</b>	<b>30.5</b>
60	(任意の部位)	100.0	<b>27.8</b>	

(見積もり表の注釈)

この表は一例であり、被ばく年齢、到達年齢、線量は自由に設定して見積もることができます。

到達年齢とは、がんリスクを評価する年齢で、何歳までのリスクを問題にするかです。

「がんリスク」の実効線量は文献値を用いています(青山他 Jpn J Health Phys. 47, 270-281, 2012)。

また、「部位がんリスク」の CTDIvol は、日本の診断参考レベル(2020 年版)の値を用いています。

(実際の吸収線量は CTDIvol の 1.1~1.2 倍程度)

「被ばく影響全体」の「全身換算被ばく影響」とは、部分被ばくを全身被ばくに換算して計算したものです。実効線量はがんリスクの観点での換算ですが、がん以外の影響の全身換算はデータがないため、実効線量による換算を行いました。「部位の被ばく影響」は、実際の被ばく細胞で放射線の影響を消去することになるので、最も完全な被ばく影響の消去になります。しかし、日常で発生する突然変異の中から放射線による突然変異と同じものを低減してゆくので、非常に長い時間がかかります。

### 本リスク低減消去法の使い方

上記のように、「がんリスクの消去」と「被ばく影響全体の消去」が可能です。すべて同じ行為(防御成分の摂取管理)により達成できます。したがって、同じ CT 検査における効果内容の違いは、継続期間の違いによるものです。見積もり表に示すように、内容に応じて消去時間が異なり、大まかには以下の順に時間が長くなります。

[短期間] 全がんリスク低減 → 被ばく部位(組織)のがんリスク低減 → 放射線影響の低減(全身に換算) → 被ばく部位(組織)の放射線影響 [長期間]

利用者が何を消去したいのかで、選択することもできますが、継続するうちに段階的に順にリスクが消去していきますので、不安が消えて満足できるところまで継続するのが良い方法でしょう。

例) 10 歳時に胸部 CT を受けた場合

90 歳までのがんリスク(到達年齢 90 歳)の増加分の消去時間は 1.5 年です。1.5 年継続すると、一般にいう被ばくリスクは消去できます。1.8 年継続すると 30 歳までのリスクの増加は消去できます。2.1 年継続すると 20 歳までのリスクが消去できます(若い頃はがんになる人が少ないので放射線の影響が大きくなります)。肺がんリスクは、ほぼ同じぐらいの時間で消去できます。しかし、被ばく影響全体の消去にはもう少し時間がかかります。

見積もり表の全がんリスクの到達年齢 90 歳の値が、一般の被ばくリスクにあたります。CT 検査を複数回受けても、現実的な時間範囲で消去が可能だとわかります。

中高年の場合、とにかく全身のがんリスクが問題になる時期なので、全がんリスクの消去ができれば

ば十分でしょう。しかし、たとえ CT リスクを消去できてひと安心しても、通常の一般平均の大きながんリスクは相変わらずありますので、リスク低減を継続して“がんになりにくい生活”を送ることで、一般平均よりがんリスクの小さな状態を維持するのが良いでしょう。

一方、子供の場合には、がんリスクと言うより、被ばく影響そのものを全部消去して被ばくしなかった状態に戻したいと、親は考えるでしょう。本リスク低減法の本来の利用法です。全身換算被ばく影響の消去まで継続できれば、それが可能ですし、それまでにがんリスクは完全に消去できています。まず、全がんリスクを消去してひと安心し、その後被ばく影響そのものから解放されるまで継続すれば良いでしょう。

そして、さらにがんリスク消去後の継続により、がんリスクの低減は続き、一般平均よりがんリスクが小さくなってゆきます。

### **リスク低減のために行うこと**

行うことは、毎日の食事で防御成分を一般の摂取量より多く（設定した範囲の量を）摂ることです。全て通常の食事で摂取する通常の栄養成分であり、幾つかの成分に留意した献立を考えるだけでいいのです。努力が必要なものではありません。あるとすれば、食後にアプリで食事内容を入力すること、そしてその食生活を継続することです。