

**第 1 章** 放射線の細胞に対する作用 …… 3

1. 物理学的過程	3
1.1 電離放射線と紫外線	3
1.2 電離作用	3
1.3 線量単位と線エネルギー付与 (LET)	5
2. 化学的過程	9
2.1 水の放射線分解	9
2.2 フリーラジカル	10
3. 生化学的過程	10
3.1 直接作用と間接作用	10
3.2 DNA に対する直接作用と水のラジカルを介した間接作用	11
3.3 放射線の効果に対する直接作用と間接作用の寄与	12
4. 生物学的過程	13
4.1 DNA 損傷と細胞への影響	13
4.2 DNA 損傷の修復	15
5. 細胞死	19
5.1 分裂死 (増殖死) と間期死	19
5.2 アポトーシスとネクローシス	20
5.3 放射線誘導アポトーシスのシグナル伝達経路	22
<i>p53</i> 依存的経路	22
<i>p53</i> 非依存的経路	22
6. 細胞の生存率曲線	23
6.1 標的理論	23
1 ヒット 1 標的	24
1 ヒット 多重標的	25
6.2 直線-二次曲線モデル (LQ モデル)	26
7. 細胞・組織の放射線感受性	28
7.1 感受性の決定因子	28
7.2 ベルゴニー・トリボンドの法則	30
7.3 $\alpha / \beta$	31

8. 突然変異 .....	32
8.1 遺伝子突然変異・32	
8.2 染色体異常・33	
第1章 参考文献・35	

## **第2章** 放射線の人体への影響 .....

37

1. 外部被ばくの非がん影響 .....	37
1.1 造血臓器・37	
1.2 生殖腺・37	
1.3 水晶体・40	
1.4 皮膚・42	
1.5 消化器・43	
1.6 神経組織・45	
1.7 内分泌系・45	
1.8 循環器・46	
1.9 その他・46	
2. 大線量急性被ばくによる死 .....	46
2.1 骨髄死（造血症候群）・47	
2.2 腸管死・47	
2.3 中枢神経死・48	
2.4 急性放射線症（ARS）の事例・48	
2.5 線量率によるLD <sub>50</sub> の変化・49	
2.6 宿酔・49	
3. 確率的影響と組織反応（確定的影響） .....	49
3.1 1977年勧告までの影響区分の変遷・49	
3.2 確率的影響・50	
3.3 LNT仮説・50	
3.4 組織反応（確定的影響）・51	
3.5 しきい線量・52	
3.6 線量限度・52	
3.7 影響区分の境界の曖昧化・53	
4. 内部被ばくの非がん影響 .....	54
4.1 骨・54	
4.2 造血臓器・55	
4.3 肺・55	

4.4	腸管	・ 56
4.5	肝臓	・ 56
4.6	生殖腺	・ 56
4.7	眼	・ 56
<b>5.</b>	<b>放射線発がん</b>	<b>.....56</b>
5.1	発がん機構	・ 56
5.2	各臓器における発がん	・ 57
	皮膚	・ 57
	甲状腺	・ 57
	その他	・ 59
5.3	$\alpha$ 線放出核種の内部被ばくによる発がん	・ 59
	ラジウム	・ 59
	トリウム	・ 60
	ラドン	・ 60
<b>6.</b>	<b>放射線の遺伝的影響</b>	<b>.....60</b>
6.1	倍加線量法	・ 61
<b>7.</b>	<b>妊婦の被ばくと胎児への影響</b>	<b>.....62</b>
7.1	胎児の発生段階と放射線障害	・ 62
	着床前期	・ 62
	器官形成期	・ 63
	胎児期	・ 63
	精神遅滞の誘発	・ 64
	胎内被ばく者のがん発生率	・ 64
第2章	参考文献	・ 65

## **第3章** 放射線の生物学的効果と放射線治療 ..... 67

<b>1.</b>	<b>正常組織と腫瘍の放射線感受性</b>	<b>.....67</b>
1.1	正常組織の放射線感受性	・ 67
	放射線による正常組織の有害事象	・ 69
	耐容線量	・ 70
1.2	腫瘍組織の放射線感受性	・ 70
	腫瘍の生物学的特性とこれに基づく治療の考え方	・ 70
	腫瘍の病理組織学的所見と放射線感受性	・ 72
1.3	放射線治療における治療可能比	・ 73

<b>2. 生物学的効果の修飾</b> .....	<b>74</b>
2.1 細胞周期	74
2.2 放射線感受性の細胞周期依存性	75
2.3 回復	76
2.4 酸素効果	80
酸素効果とは	80
酸素効果のメカニズム	81
酸素効果と放射線治療	84
2.5 放射線防御剤	86
放射線防護剤	86
緩和剤・治療剤	87
2.6 放射線増感剤	87
ハロゲン化ピリミジン	88
低酸素細胞増感剤	88
放射線増感療法 KORTUC	90
高圧酸素療法	91
HSP90 阻害剤	91
2.7 分子標的薬剤	92
<b>3. 分割照射</b> .....	<b>95</b>
3.1 分割照射の基礎	95
3.2 分割照射と細胞生存率曲線	97
3.3 通常分割以外の線量分割法	99
多分割照射	99
EORTC 22791 (EORTC 22791)	99
加速照射および加速多分割照射	100
DAHANCA 6&7	100
3.4 寡分割照射	101
<b>4. 分割照射と 4R</b> .....	<b>102</b>
4.1 回復 (repair)	102
放射線による細胞障害と回復	102
潜在的致死障害の回復	103
亜致死障害の回復	104
4.2 再増殖 (repopulation)	106
増殖	106
分割照射における再増殖	107
4.3 再酸素化 (reoxygenation)	108

4.4	再分布 (redistribution)	・ 109
4.5	まとめ	・ 110
<b>5.</b>	<b>LET と生物学的効果</b>	<b>……………110</b>
5.1	LET (線エネルギー付与) と RBE (生物学的効果比)	・ 110
5.2	LET (線エネルギー付与) と OER (酸素増感比)	・ 111
5.3	LET (線エネルギー付与) と回復/修復	・ 113
5.4	LET (線エネルギー付与) と放射線感受性の細胞周期依存性	・ 114
5.5	粒子線治療	・ 115
	陽子線治療	・ 116
	炭素線治療	・ 116
5.6	ホウ素中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy : BNCT)	・ 117
	BNCT の原理	・ 117
	BNCT で用いられるホウ素化合物	・ 119
	BNCT で生じる線量	・ 120
	将来展望	・ 121
<b>6.</b>	<b>温熱療法 (ハイパーサーミア)</b>	<b>……………122</b>
6.1	温熱による細胞致死のメカニズム	・ 122
6.2	温熱耐性	・ 123
6.3	温熱と放射線の併用	・ 124
第3章	参考文献	・ 125
<b>索引</b>	<b>……………</b>	<b>127</b>