解 説

妊娠作業員・胚・胎児の放射線防護：ICRP 勧告の変遷と現在の課題

浜田 信行^{*1}

(2017 年 5 月 10 日受理)

(2017 年 6 月 12 日再受理)

Radiation Protection of a Pregnant Worker, the Embryo and Fetus: Historical Changes in ICRP Recommendations and Current Issues

Nobuyuki HAMADA^{*1}

In its latest basic recommendations issued in 2007, the International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommends that the working conditions of a pregnant worker, after declaration of pregnancy, be such as to ensure that the additional dose to the embryo and fetus would not exceed about 1 mSv during the remainder of the pregnancy, where exposures of the embryo and fetus of pregnant workers are considered and regulated as public exposures. However, it remains unclear, e.g., [1] whether such recommended additional dose of about 1 mSv to the embryo and fetus is the whole body equivalent dose or the effective dose, [2] if the latter, how to compute the effective dose while the currently recommended tissue weighting factors (w_T) do not include the stochastic risks of *in utero* exposures and while the unavailability of the current epidemiological data sets does not allow computation of detriment for *in utero* exposures, and [3] whether the embryo and fetus are the public. This paper briefly reviews historical changes in ICRP recommendations on protection of pregnant workers, embryo and fetus, and then discusses pertinent issues behind the 2007 recommendations.

KEY WORDS: ICRP, pregnant worker, embryo, fetus, public.

I はじめに

国際放射線防護委員会 (ICRP) は、女性作業員の妊娠に関して、1956 年に初めて記述、1959 年に初めて数値的な勧告をし、その後、1964 年、1977 年、1990 年、1996 年、2007 年に数値を改訂した。1959 年、1964 年、1977 年の勧告では、[1] 妊娠の可能性がある女性作業員、妊娠してから女性作業員本人か医師が妊娠を認識するまでの妊娠最初の 2 か月間、生殖年齢 (reproductive age) の女性作業員、生殖能力 (reproductive capacity) のある女性作業員、[2] 妊娠を認識した女性作業員、妊娠と診断された女性作業員、[3] それら以外 (つまり、[1] と [2]

以外) の女性作業員に分けて、[3] については男性作業員と同じ防護、[1] か [2]、あるいは、[1] と [2] の両方に特則を勧告した。1990 年以降は、妊娠の申告前は男性作業員と同じ防護、妊娠の申告後から出産までは特則を勧告している。

ICRP は、2007 年勧告で、「女性作業員が妊娠を申告したら、胚・胎児を防護するために追加の管理が考慮されなければならない、残りの妊娠期間に、胚・胎児への追加の線量が約 1 mSv を上回ることがないように作業条件であるべき」そして「妊娠作業員の胚・胎児の被ばくは、公衆被ばくとして考えられて規制される」と勧告している。しかし、「そのような胚・胎児への追加の線量約 1 mSv が全身への等価線量であるのか実効線量であるのか」、「組織加重係数に胎内被ばくリスクが含まれておらず、胎内被ばくリスクに関する疫学的知見が十分でない状況で、どのように実効線量を算出するのか」、「胚・胎児は公衆か」など必ずしも明確でない。

^{*1} (一財) 電力中央研究所原子力技術研究所放射線安全研究センター：東京都狹江市岩戸北 2-11-1 (〒201-8511)

Radiation Safety Research Center, Nuclear Technology Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), 2-11-1 Iwadokita, Komae-shi, Tokyo 201-8511, Japan.

E-mail: hamada-n@criepi.denken.or.jp

そこで、本稿では、女性作業者の妊娠と胚・胎児の防護に関する ICRP 勧告の変遷について II 章で述べ、妊娠作業・胚・胎児の防護に関する ICRP 勧告の課題を III 章で議論し、関連する国内外の動向を IV 章で紹介する。ICRP 刊行物で、embryo と記載されている場合は胚、fetus は胎児、conceptus は受胎産物（1990 年勧告から使用されている胚と胎児を意味する用語）、infant は幼児、child は小児、live born child は出生児と記載する。

II 女性作業者の妊娠と胚・胎児の防護に関する ICRP 勧告の変遷

1. 1956 年

1954 年勧告¹⁾への修正 (amendments)²⁾が 1956 年に刊行され、胚の放射線感受性は非常に高いことが動物実験から示されているので、妊娠作業者が大線量の透過性放射線に被ばくしないよう特別な注意を要するとされたが、作業者の基本許容週線量 (basic permissible weekly

dose) を上回らなければ、特則は不要とされた。妊娠作業への特則となる数値的な勧告はされなかったが、妊娠に関する初めての勧告となった（第 1 表に、妊娠の観点からの女性作業者の区分と数値的勧告の変遷をまとめて示す）。なお、全身の外部被ばくには <3 MeV の電磁放射線（光子）の場合に 0.3 r/週（1 週間の被ばくが 0.3 r を上回る場合は例外的に 3 r/13 週）、内部被ばくには 0.1 rem/週（1 mSv/週）が、基本許容週線量とされた。なお、13 週は四半期のことである。1 r は約 1 cGy に相当する。

2. 1959 年

1958 年の Publication 1（1958 年勧告）³⁾では、作業者の最大許容線量 (maximum permissible dose) として、四半期で 3 rem、つまり、30 mSv/13 週を勧告し、必要であれば、1 回で 3 rem を被ばくするかもしれないが、線量率による生物効果の違いに関する科学的知識が不足

第 1 表 妊娠の観点からの女性作業者の区分と関連する線量の変遷

勧告年	女性作業者の区分		
	1	2	3
1956 年 なし		妊娠作業 数値的な勧告なし	その他 男性作業者と同じ防護
1959 年 生殖年齢の作業者		妊娠作業	その他
	30 mSv/13 週 最大許容線量	数値的な勧告なし	男性作業者と同じ防護
1964 年 生殖年齢の作業者		妊娠が認識された作業者	その他
	妊娠が認識されるまでの最初の 2 か月間の作業者 13 mSv/13 週 (50 mSv/年) 最大許容線量 (作業者の腹部への線量)	10 mSv 最大許容線量 (胎児への平均線量)	男性作業者と同じ防護
1977 年 生殖能力のある作業者		妊娠と診断された作業者	その他
	妊娠が認識されるまでの最初の 2 か月間の作業者		
	数値的な勧告なし	約 15 mSv 線量当量 (限度ではなく作業条件 B での目安)	男性作業者と同じ防護
1990 年 なし		妊娠を申告した作業者	その他
		2 mSv (外部被ばく) 補足的な等価線量限度 (作業者の腹部表面への線量) 年摂取限度の約 1/20、つまり、約 1 mSv (内部被ばく) 預託実効線量限度	男性作業者と同じ防護
1996 年 なし		妊娠を申告し、雇用者に通知した作業者	その他
		約 1 mSv 受胎産物への追加の等価線量	男性作業者と同じ防護
2000 年 なし		妊娠を申告し、雇用者に通知した医療従事者	その他
		約 1 mGy 受胎産物への追加の吸収線量	男性作業者と同じ防護
2007 年 なし		妊娠を申告し、雇用者に通知した医療従事者	その他
		約 1 mSv 胚・胎児への追加の線量 (等価線量が吸収線量が明記なし)	男性作業者と同じ防護

それぞれの勧告年において、上段は区分の対象、下段は適用される勧告を示す。

しているの、「1回で3 remの被ばくを実践可能な限り避けるべき」とされた。1959年のPublication 1補遺(addendum)⁴⁾では、妊娠作業員には胎児組織への身体的損傷(somatic damage)に関する特別なリスク問題があるとして、上述「」内の記述が「特に生殖年齢の女性作業員の場合、1回で3 remの被ばくを実践可能な限り避けるべき」に変更された。

3. 1964年

1964年のPublication 6(1964年勧告)⁵⁾では、妊娠が認識されるまでの最初の2か月間(胚形成と器官形成が進行する期間)とそれ以降から出産までの残りの妊娠期間は、生殖年齢の女性作業員の被ばくを考慮しなければならないとされた。

1959年に勧告された3 rem/13週(30 mSv/13週)⁴⁾を、生殖年齢の女性作業員における腹部の被ばくに適用すべきでないとした。腹部の被ばくの限度が13週間で1.3 rem(年5 remに相当)、つまり、13 mSv/13週(50 mSv/年)となる条件下のみで、生殖年齢の女性作業員は、雇用されるべきとされた。これによって、妊娠から最初の2か月間における胚の被ばく線量は通常10 mSv未満となり、容認可能な線量であるとされた。

妊娠から2か月経つと女性作業員自身か医師が妊娠を認識する。この時点で、胚形成の重要な過程は完了しているが、胎児の放射線感受性は特に高く、胎児が数cGyのX線を胎内被ばく後10年以内に悪性疾患の発生がいくらか増加することが示されていることから、残りの妊娠期間で胎児への平均線量が10 mSvを上回らないようにとされた。

4. 1977年

1977年のPublication 26(1977年勧告)⁶⁾では、作業員の線量当量限度(dose equivalent limit)として50 mSv/年が勧告された。生殖能力のある女性作業員が、線量限度以下で規則的な割合で被ばくする場合、妊娠から最初の2か月間に胚の被ばくが5 mSvを上回ることはなさそうであるので、器官形成の重要な時期に適切な防護ができるであろうとされた。妊娠から2か月経って、妊娠と診断されたら、女性作業員は、作業条件B(working condition B)の下でのみ作業するよう勧告した。ここで、作業条件Bとは、年間被ばく線量が線量限度の3/10(10分の3)を上回ることがほぼなさそうな条件のことである(なお、作業条件Aとは、3/10を上回るかもしれない条件)。この3/10は、防護を組織化するための参考レ

ベル(reference level)であり、限度ではないとされたことから、第1表には、約15 mSv/年と示した。なお、1977年勧告⁶⁾での参考レベルは、緊急時被ばく状況と現存被ばく状況に適用される2007年勧告⁷⁾の参考レベルとは異なるので注意が必要である。

5. 1990年

1990年のPublication 60(1990年勧告)⁸⁾では、妊娠していない女性作業員の防護は、男性作業員の防護と基本的に同じであるが、妊娠あるいはその可能性がある女性作業員には追加の管理が必要になり、受胎産物の防護は、公衆の防護と広く同様であるべきであるとされた。妊娠が申告されたら、出産までの残りの妊娠期間、外部被ばくについては、女性作業員の腹部(体幹下部)の表面への補足的な等価線量限度として2 mSvを適用するとともに、内部被ばくについては、放射性核種の摂取を年摂取限度(annual limits on intake)の約1/20に限ることで、受胎産物を防護することとされた。年摂取限度は、預託実効線量20 mSvにもとづいて算出されるため、その約1/20は約1 mSvとなる。ICRPの防護体系の採用、特に線源に関連する線量拘束値の採用により、妊娠女性の雇用を制限する必要が特になく、この限度を適切に守れるであろうことが強調された。

6. 1996年

1996年のPublication 73(医療における放射線防護と安全に関する第3専門委員会の報告書)⁹⁾では、1990年勧告⁸⁾での助言が厳重に解釈され過ぎることがあり、妊娠作業員の受胎産物に厳密な線量限度を採用すると実践的に問題があるとして、妊娠初期は、性別に関係なく同じ通常の防護で十分であるが、妊娠が申告され、雇用者に通知されたら、残りの妊娠期間に、受胎産物への追加の等価線量が約1 mSvを上回らないように防護するよう勧告された。妊娠作業員を不要に差別しないことの重要性和、1990年勧告⁸⁾で述べられた線量拘束値の採用などについて改めて強調された。

7. 2000年

本稿の焦点は、作業員であるので、詳細は言及しないが、ICRPは、作業員以外の防護についても議論している。例えば、2000年のPublication 84(妊娠と医療放射線に関する第3専門委員会の報告書)¹⁰⁾では、妊娠患者、妊娠医療従事者、生物医学研究における妊婦の防護について議論しており、多くの医療被ばくでは均一な光子・電

子による被ばくであるため、受胎産物への線量は、等価線量ではなく、吸収線量として議論されている。そのため、妊娠が申告されたら、残りの妊娠期間に、受胎産物への追加の吸収線量が約 1 mGy を上回ることがないように防護するよう勧告されている。

8. 2001 年

ICRP は、31 元素 (H, C, S, Ca, Fe, Co, Ni, Zn, Se, Sr, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Ag, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ce, Pb, Po, Ra, Th, U, Np, Pu, Am, Cm) の放射性核種の吸入摂取と経口摂取について、年齢特異的な体内動態モデルと預託実効線量係数 (単位摂取あたりの線量) を、公衆 (幼児・小児・成人) は Publication 56, 67, 69, 71, 72 で、作業員 (成人) は Publication 68 で示してきた¹¹⁻¹⁶⁾。2001 年の Publication 88 (母親の放射性核種摂取による胚・胎児への線量に関する第 2 専門委員会の報告書)¹⁷⁾ では、これら 31 元素の放射性核種について、1990 年勧告⁸⁾ の組織加重係数 (w_T) を用いて、女性が吸入摂取か経口摂取した場合の預託実効線量係数 (Sv/Bq) を示した。預託実効線量係数は、新たに構築した胚・胎児の体内動態モデルを用いて算出した出生前までの預託実効線量係数 ($e_{in\ utero}$) と、既存の幼児・小児・成人の体内動態モデルを用いて算出した生後の預託実効線量係数 ($e_{postnatal}$) を足し合わせた子孫の預託実効線量係数 ($e_{offspring}$) として算出された (つまり、 $e_{offspring} = e_{in\ utero} + e_{postnatal}$)。なお、Publication 88¹⁷⁾ では、受胎産物・胚・胎児が初めて明確に定義され、受胎後 0-8 週 (0-56 日目) が胚、受胎後 9-36 週 (57-266 日目) が胎児とされた。

9. 2007 年

2007 年の Publication 103 (2007 年勧告)⁷⁾ では、女性作業員が妊娠を申告 (雇用者に通知) したら、胚・胎児を防護するために追加の管理が考慮されなければならない、残りの妊娠期間に、胚・胎児への追加の線量が約 1 mSv を上回ることがないような作業条件であるべきと勧告された。妊娠作業員の胚・胎児の被ばくは、公衆被ばくとして考えられて規制されるとされた。

III 妊娠作業員・胚・胎児の防護に関する課題

1. 2007 年勧告の「胚・胎児への追加の約 1 mSv」は、等価線量か、実効線量か、線量限度か、目安か

2007 年勧告⁷⁾ の本文 (パラグラフ 186) には、「残りの妊娠期間に、胚・胎児への追加の線量が約 1 mSv を上回ることがないように」と記載されているが、この線

量が、等価線量なのか実効線量なのか、そして、線量限度なのか目安なのか、明記されていない。

1996 年の Publication 73⁹⁾ における「残りの妊娠期間に、受胎産物への追加の等価線量が約 1 mSv を上回ることがないように」に由来すると考えれば、2007 年勧告⁷⁾ での「胚・胎児への追加の約 1 mSv」は、等価線量と捉えられる。Publication 73⁹⁾ でそのように勧告されたのは、1990 年勧告⁸⁾ での「外部被ばくは、女性腹部表面への補足的な等価線量限度 2 mSv、内部被ばくは預託実効線量で約 1 mSv」が嚴重に解釈され過ぎたためであり、追加の等価線量としての約 1 mSv は、線量限度ではなく、1977 年勧告⁶⁾ での約 15 mSv のように、目安と捉えるのが妥当に思われる。

2007 年勧告⁷⁾ では、表 8 に、計画被ばく状況における作業員の個人実効線量限度として「残りの妊娠期間に胚・胎児へ 1 mSv」とあり、本文 (パラグラフ 180) には、「妊娠作業員の胚・胎児の被ばくは、公衆被ばくとして考えられて規制される」とある。このことから、2007 年勧告⁷⁾ での「胚・胎児への追加の約 1 mSv」は、実効線量限度と捉えられる。公衆であれば、1 mSv/年の実効線量限度が適用されることになり、年間を通じて一定の線量率で 1 mSv/年を被ばくすると、全妊娠期間 (受胎から出産までの 256 日間) で 0.7 mSv、妊娠の申告から残りの妊娠期間 (受胎 2 か月後から出産までの 196 日間) で 0.46 mSv に相当する。

「胚・胎児への追加の約 1 mSv」は、胚・胎児を、女性作業員の組織の一部と捉えれば、吸収線量に放射線加重係数 (w_R) を掛けて等価線量を考えられなくもない。しかし、2007 年勧告⁷⁾ では、胚・胎児を、女性作業員とは別に、公衆被ばくとして規制するとしていることから、胚・胎児への線量は、全身等価線量ではなく、実効線量と各組織の等価線量で考えるべきであろう。

2. 胚・胎児の実効線量

w_R が 1 の透過性放射線に個体全身が均等に被ばくすれば、全身等価線量 (全身吸収線量) は実効線量と等しくなるが、それ以外の場合は、実効線量の算出に組織加重係数 (w_T) が必要となる。しかし、 w_T は、生後の被ばくによる確率的影響 (がんと遺伝影響) に対して性別と全年齢を考慮した名目生涯リスク係数に基づいており、その算出にあたり、出生前の胎内被ばくによるリスクが考慮されていない。同じ w_T を、生後の年齢・性別に関係なくすべてに適用することの是非とは別に、胎内被ばくリスクを現在の w_T 算出に考慮するかの議論が必

要であろう。

疫学的知見に一貫性がなく、相当な不確実性があるが、胎内被ばくのがん名目致死確率係数が、1990年勧告⁸⁾では「集団全体 (population as a whole) よりも数倍高い」、1996年のPublication 73⁹⁾では「小児と同等」と考えられるとされた。2003年のPublication 90 (胎内被ばく後の生物影響に関する第1専門委員会の報告書)¹⁸⁾では、1990年勧告以降の科学的知見がまとめられた。胎内被ばくの小児がんリスクに関して、最大規模のオックスフォード小児がん研究 (OSCC) では、全種類のがんのリスクが同程度に増加、第二の規模の研究では、白血病のリスクが固形がんより高くなり、その他のコホートでは、小児がんリスクの有意な増加が認められなかったが、胎内被ばくの生涯がんリスクは、小児期早期被ばくのリスクと同程度であるかもしれないことが、原爆被ばく者での限られた知見から示唆されている¹⁸⁾。また、妊娠第1期での被ばくと妊娠第2期・第3期での被ばくによるがん誘発は少なくとも同程度であることが、OSCCから示唆されている¹⁸⁾。胎内被ばくについて、 w_T の算出に必要なさまざまな組織におけるがんリスクの知見が十分になく、低線エネルギー付与 (LET) 放射線の線量・線量率効果係数 (DDREF) や高 LET 放射線の w_R や生物学的効果比 (RBE) も算出できないため、これらの状況を勘案して、2007年勧告⁷⁾では、胎内被ばくの名目生涯がんリスク係数の算出を試みないが、胎内被ばくの生涯がんリスクは、小児期早期被ばくのリスクと同程度、つまり集団全体より最大で数倍高いと判断されている。

2001年のPublication 88¹⁷⁾では、新たに構築した胚・胎児の体内動態モデルと1990年勧告⁸⁾の w_T を用いて、女性作業者が放射性核種を摂取したことによる出生までの胚・胎児の預託実効線量係数 ($e_{in\ utero}$) が算出され、一般的に、胚・胎児・新生児の線量は、標準女性 (Reference Female) の線量と同等かそれ未満とされた。2007年勧告⁷⁾の本文 (パラグラフ 131) に述べられているように、第2専門委員会は、妊娠女性や胎児の標準計算用ファントムを開発中であるが、胎内被ばくリスクを考慮した w_T を現状で算出できないため、2007年勧告⁷⁾の w_T を使用することになるであろう。

3. 胚・胎児の等価線量

実効線量は、確率的影響のための防護量で、 w_T は確率的影響のリスクがある各組織の等価線量を全身の実効線量として足し合わせるための加重係数である。実効線量限度は、確率的影響のリスクを容認できるレベル

に制限するために必要であるが、等価線量限度は、組織反応 (確定的影響) の防止に必要である。2003年のPublication 90¹⁸⁾によると、胎内被ばくによる主な組織反応として、着床不全・胚死・胎児死・奇形・精神遅滞・知能指数 (IQ) 低下・成長遅滞などが挙げられる。その多くの知見は、齧歯類やイヌなどの動物実験から得られているが、中枢神経系については、原爆被ばく者の知見がある。受胎後8-25週に被ばくすると精神遅滞とIQ低下が生じる¹⁸⁾。精神遅滞のしきい線量は、受胎後8-15週での被ばくで0.6 Gy、受胎後15-25週での被ばくで0.9 Gyとされている¹⁸⁾。IQ低下は、受胎後8-15週での被ばくで25ポイント/Gy、受胎後15-25週での被ばくで21ポイント/Gyとされている¹⁸⁾。受胎後<8週か>25週での被ばくによる精神遅滞とIQ低下の誘発は知られていない¹⁸⁾。このように、胎内被ばくは、確率的影響だけではなく、組織反応にもリスクがあることから、実効線量と等価線量の双方を考える必要があるが、線量限度の考慮には、更なる線量・線量率効果関係の知見が必要となる。

4. 胎内期間の加算

数え年 (出生時に1歳で、1月1日を迎える都度1歳追加) が使用されている韓国以外の国では、満年齢 (出生時に0歳で、誕生日を迎える都度1歳追加) が使用されているため、寿命の年数が年齢と等しい。また、内部被ばく線量を算出する際の預託期間は、作業員では50年間、幼児・小児は摂取から70歳までとされている。しかし、胎内被ばくの生涯リスクや預託線量の算出には、胎内期間も含めることになる。

なお、本論から逸れるが、作業員の預託期間である50年間は、若者の就労開始後の平均余命を丸めた数値である⁷⁾。1950年代前半の平均寿命は、世界で約50歳、日本で60歳前半であったが、英米では約70歳であり、1950年勧告¹⁹⁾と1954年勧告¹⁾には平均寿命70歳と記載されている。放射性核種を摂取後50年間の重要臓器の被ばくが1959年のPublication 1補遺⁴⁾で議論され始め、作業員の50年間の預託線量当量が1977年勧告⁶⁾で算出され、現在に至る。世界保健機関 (WHO) が2016年5月に公開した世界統計によると、2015年時点で、世界の平均寿命は71.4歳 (日本は83.7歳) である^{20, 21)}。生涯労働期間や作業員の預託期間として使用されている50年間は、もともと、就労開始から1950年代の先進国での平均寿命を丸めて50年間とされたが、現在では、就労開始から世界平均寿命までの50年間、また、公衆

の70歳も世界の平均寿命と捉えられるのかもしれない。

5. 胚・胎児は公衆か

公衆被ばくは、作業被ばくと医療被ばく以外のすべての被ばくと定義されており、女性作業者が職業被ばくしても、女性患者が医療被ばくしても（胚・胎児に便益がもたらされなければ）、胚・胎児にとっては公衆被ばくとなる。しかし、胚・胎児の被ばくを公衆被ばくと考えることと、胚・胎児を公衆と考えることは別であろう。日本では、法的に、受精後14日以降の余剰胚の実験利用は禁止、受胎10週以前の早期流産は届け出が不要、受胎10週以降の死産・後期流産・中絶は死産届が必要、受胎20週以降の中絶は禁止とされ、刑法上は母体からの一部露出で人として認められ、民法上は全部露出で人として認められるが、基本的人権は出生（出生届の提出）まで認められていない。そのため、胚・胎児を公衆に含めるべきか倫理的な議論が必要になる。

IV 関連する国内外の動向

本邦では、放射線審議会基本部会が、2007年勧告⁷⁾の国内制度等への取入れに関して、2008年3月に検討を開始し、2010年1月に第一次中間報告²²⁾、2011年1月に第二次中間報告²³⁾をとりまとめた。第二次中間報告²³⁾において、「胚・胎児の線量が1 mSvを超えないことを確実にするための追加の線量管理の方策については、放射線防護に精通する関係省庁と関係学会等の関係機関により共同で検討が行われることが適切である」とされた。これに対して、日本保健物理学会は、女性作業者が妊娠を通知後、残りの妊娠期間に胚・胎児への等価線量が1 mSvを上回らないようにするための判断基準として、当該期間に妊娠作業者の実効線量が1 mSvを上回らないようにすることを、学会標準として2017年3月に制定したところである²⁴⁾。

米国では、米国放射線防護審議会（NCRP）が、Kenneth R. KASE氏とDonald A. COOL氏を共同議長として、2014年に審議会委員会1（CC 1）「Radiation protection guidance for the United States」を立ち上げて、最新の主勧告である1993年勧告（NCRP Report No. 116²⁵⁾）の更新を進めている^{26, 27)}。新主勧告は、2018年に刊行される見込みであり、1993年勧告²⁷⁾からさまざまな変更が盛り込まれる。そのうち、妊娠作業・胚・胎児の防護については、女性作業者が妊娠を通知したら、残りの妊娠期間に上回らないようにする線量として、「胚・胎児への等価線量0.5 mSv/月」を「妊娠作業者に実効線量

5 mSv」に変更することが検討されている。この変更は、胚・胎児への等価線量を決定しようと試みるより、妊娠期間中の女性作業者の線量をモニタリングした方が実践的であると考えられたためであり、実効線量5 mSvの目的は、その線量以下での組織反応のリスクは無視できるレベルであるので、がんの生涯リスクを抑えるためであるとしている。

V さ い ご に

ICRPは、妊娠作業者の被ばくに伴う胚・胎児の被ばくは公衆被ばくであるとして、申告後の残りの妊娠期間に胚・胎児への追加の線量が約1 mSvを上回らないように勧告しているが、胎内被ばくリスクを含めた w_T を算出するための十分な疫学的知見がまだなく、開発中の妊娠女性や胎児の標準計算用ファントムでも2007年勧告⁷⁾の w_T を使用することになるため、上述の日米での議論のように、胚・胎児への線量ではなく、妊娠作業者への実効線量で管理する方が実践的であろう。

そもそも、2007年勧告⁷⁾において、実効線量は、標準男性と標準女性の組織について評価された等価線量を平均化して推定される標準人の線量として定義されているため、胚・胎児・幼児など、放射線リスクがしばしば問題とされる特定の年齢集団への適用に向いていないという根本的な課題を議論する必要がある。また、ICRPは、現在、妊婦や胚・胎児・新生児を含む年齢別のファントムにもとづく実効線量換算係数の整備を進めており、妊娠作業者の防護に関して、妊娠作業者への実効線量として勧告・管理すべきか、胚・胎児への線量として勧告して妊娠作業者への実効線量で管理すべきか、胚・胎児は公衆か、 w_T の算出に胎内被ばくリスクを含めるべきかなど、更なる議論が引き続き必要であろう。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、ご意見をいただいた保田浩志氏（広島大学）、横山須美氏（藤田保健衛生大学）、佐藤達彦氏（（国研）日本原子力研究開発機構）、佐々木道也氏（（一財）電力中央研究所）に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) ICRP; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Br. J. Radiol.*, **Suppl. 6**, 1-92 (1955).
- 2) ICRP; Report on amendments during 1956 to the Recommendations of the International Commission on

- Radiological Protection (ICRP), *Acta Radiol.*, **48**, 493–495 (1957); *Radiat. Res.*, **8**, 539–542 (1958); *Radiology*, **70**, 261–262 (1958).
- 3) ICRP; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 1 (1958).
- 4) ICRP; Report on decisions at the 1959 meeting of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Acta Radiol.*, **53**, 166–170 (1960); *Am. J. Roentgenol.*, **83**, 372–375 (1960); *Br. J. Radiol.*, **33**, 189–192 (1960); *Radiology*, **74**, 116–119 (1960).
- 5) ICRP; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 6 (1964).
- 6) ICRP; Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26. *Ann. ICRP*, **1** (3) (1977).
- 7) ICRP; The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, *Ann. ICRP*, **37** (2–4) (2007).
- 8) ICRP; 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, *Ann. ICRP*, **21** (1–3) (1991).
- 9) ICRP; Radiological protection and safety in medicine, ICRP Publication 73, *Ann. ICRP*, **26** (2) (1996).
- 10) ICRP; Pregnancy and medical radiation, ICRP Publication 84, *Ann. ICRP*, **30** (1) (2000).
- 11) ICRP; Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides—Part 1, ICRP Publication 56, *Ann. ICRP*, **20** (2) (1990).
- 12) ICRP; Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides—Part 2 ingestion dose coefficients, ICRP Publication 67, *Ann. ICRP*, **23** (3/4) (1993).
- 13) ICRP; Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides—Part 3 ingestion dose coefficients, ICRP Publication 69, *Ann. ICRP*, **25** (1) (1995).
- 14) ICRP; Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides—Part 4 inhalation dose coefficients, ICRP Publication 71, *Ann. ICRP*, **25** (3/4) (1995).
- 15) ICRP; Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides—Part 5 compilation of ingestion and inhalation coefficients, ICRP Publication 72, *Ann. ICRP*, **26** (1) (1995).
- 16) ICRP; Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers, ICRP Publication 68, *Ann. ICRP*, **24** (4) (1994).
- 17) ICRP; Doses to the embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother, ICRP Publication 88, *Ann. ICRP*, **31** (1–3) (2001).
- 18) ICRP; Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus), ICRP Publication 90, *Ann. ICRP*, **33** (1/2) (2003).
- 19) ICRP; International recommendations on radiological protection, *Br. J. Radiol.*, **24**, 46–53 (1951); *Radiology*, **56**, 431–439 (1951).
- 20) WHO; Life expectancy Data by WHO region (Last updated: 2016-06-06) (2016a) [online]. Available at: <http://apps.who.int/gho/data/view.main.SDG2016LEXREGv?lang=en>, Accessed 10 May 2017.
- 21) WHO; Life expectancy Data by country (Last updated: 2016-06-06) (2016b) [online]. Available at: <http://apps.who.int/gho/data/view.main.SDG2016LEXv?lang=en>, Accessed 10 May 2017.
- 22) 放射線審議会基本部会；国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告 (Pub. 103) の国内制度等への取入れに係る審査状況について—中間報告— (2010 年 1 月 19 日) [online]. Available at: http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/sonota/_icsFiles/afieldfile/2010/02/16/1290219_001.pdf, 閲覧 2017 年 5 月 10 日.
- 23) 放射線審議会基本部会；国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007 年勧告 (Pub. 103) の国内制度等への取入れについて—第二次中間報告— (2011 年 1 月 28 日) [online]. Available at: http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/toushin/_icsFiles/afieldfile/2011/03/07/1302851_1.pdf, 閲覧 2017 年 5 月 10 日.
- 24) 日本保健物理学会放射線防護標準化委員会；女性放射線業務従事者の妊娠期間中の線量管理方法ガイドラインの標準の制定について (2017 年 3 月 15 日) [online]. Available at: <http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/news/page.cgi?id=52>, 閲覧 2017 年 5 月 10 日.
- 25) NCRP; Limitation of exposure to ionizing radiation, NCRP Report No. 116 (1993).
- 26) 浜田信行；NCRP Commentary No. 26 「眼の水晶体に対する放射線線量限度に関するガイダンス」の概要, 保健物理, **52**, 77–87 (2017).
- 27) 浜田信行；米国放射線防護審議会 第 1 専門委員会

2017 年年会の概要, 保健物理, **52**, 139–142 (2017).

浜田 信行 (はまだ のぶゆき)

2004 年 3 月に長崎大学で博士 (薬学) を取得。群馬大学 COE 准教授等を経て, 2010 年度より現所属 (主任研究員)。専門は放射線影響。英語論文 96 編, 日本語論文 26 編, 著書等 30 編, 受賞 16 件。

米国放射線防護審議会 (NCRP) 第 1 専門委員会 (PAC 1) 委員, 国際放射線防護委員会 (ICRP) タスクグループ 102 通信委員, LDLEnsRad (欧州 CONCERT 低線量水晶体影響プロジェクト) 科学諮問委員会委員長などを現任。NCRP/PAC 1/SC 1-23 顧問, ICRP 科学秘書官補佐, OECD/NEA/CRPPH/EGRPS 委員などを歴任。

E-mail: hamada-n@criepi.denken.or.jp