

Annual Review of Genetics § 掲載論文

「放射線がヒトの遺伝に及ぼす影響」

中村 典、陶山昭彦、野田朝男、児玉喜明

“Radiation Effects on Human Heredity”

Annu Rev Genet 2013 (November); 47:33–50 (doi: 10.1146/annurev-genet-111212-133501)

論文の要旨

この総説は放射線の遺伝的影響に関する研究結果をまとめたものである。歴史的なショウジョウバエとマウスを用いた研究、ヒトにおける調査研究、そして最近のヒトゲノム解読研究の成果が及ぼす影響について述べられている。動物実験では放射線の遺伝への影響が明らかであるが、ヒトでは調べられた限り明らかな影響は観察されていない。この理由について考察が加えられている。

解 説

この総説の構成は、「緒言」「ショウジョウバエとマウスを用いた古典的研究」「ヒトにおける調査研究」「ヒトゲノム研究の衝撃」「結論」となっている。「ヒトにおける調査研究」の部分の内訳は、出生時の異常／染色体異常／性比／ゲノム内の反復した塩基配列部位における反復回数の変化／がんの罹患率／死亡率となっていて、原爆被爆者だけでなく小児がん治療のために放射線治療を受けた元患者や原子力施設で働く人とその家族についての調査論文も紹介されている。

ヒトにおける調査研究で放射線の影響が検出されにくい理由

1. 放射線量の違い

マウスでは3 グレイ (Gy) 以上の照射が普通に行われてきたが、ヒトの場合にはそのような全身大量被曝は極めてまれである。ただし、小児がんの放射線治療では局所反復照射による生殖巣への合計線量が 10 Gy を越えることも少なくない。

2. 減数分裂前の生殖細胞に生じた突然変異は次世代に伝わりにくい

哺乳動物のオスでは、精子のもとになる幹細胞（精原細胞）が絶えず分裂してコピー（娘細胞）を作り、娘細胞は減数分裂（生殖細胞に特有の、染色体の数が半減する細胞分裂の様式をいう）を経て精子となる。減数分裂後の細胞は被曝しても時間と共に消えて（吸収されて）しまうが、幹細胞に生じた突然変異は消えない。出生時の異常に関するマウス実験で、オスの放射線被曝により次の世代に異常を生じることが報告されているが、減数分裂前に被曝した娘細胞に由来する子どもには影響は少ない。他方、哺乳動物のメスは、生涯に必要なよりもはるかに多くの卵子（未熟卵子）を持って生まれてくる。成長に伴いほとんどの卵子は未熟状態のまま、排卵されることなく自然に減少の一途をたどる。他方、ごく少数の卵子は栄養分を蓄える成熟過程を経て排卵される。放射線被曝の直後の妊娠例数は少ないので、

ヒトの女性の場合も調査の対象となるのは未熟状態にあった卵子の被曝の影響ということになるが、この場合も減数分裂前の卵子では影響は少ないと予想される。しかしマウスの未熟卵子は少量の放射線によって細胞死（アポトーシス）を生じるので、子どもが得られず、従ってデータも得られない。ヒトの未熟卵子にはアポトーシスは起こらないので、マウスはヒト女性のモデルとしては役立っていない。ハムスターの未熟卵子（アポトーシスは生じない）では1 Gyの放射線により子どもに染色体異常は検出されていないので、ヒトでも同様の可能性はある。

3. ヒトゲノム研究の衝撃

最近の調査から、ヒトのゲノムには既に多くの「異常」が蓄積していることが明らかとなった。任意の正常な二人を比較すると1塩基の違いは数百万カ所、小さな欠失や重複は数十万カ所にも及ぶ。他方、マウス精原細胞の任意の遺伝子に突然変異を生じる確率は1 Gyで10万分の1程度である。マウスでもヒトでも遺伝子の数は25,000個くらいなので、突然変異を起こす遺伝子総数は1 Gyで0.25個と推定される。原爆被爆者の子どもの出生時調査の対象となった親の場合、平均線量は0.3 Gyくらいなので、もしヒトとマウスの放射線に対する感受性が同じであれば、突然変異を生じる遺伝子の数は平均0.075個という推定が成り立つ。この値は既存の「異常」数と比べて大変少ないので、影響検出の困難さが分かる。

（注）日本語読者のために：「原爆放射線の人体影響 改訂第2版」（文光堂、2012年）にも参考になる内容が掲載されています。

放射線影響研究所は、広島・長崎の原爆被爆者および被爆二世を60年以上にわたり調査してきた。その研究成果は、国連原子放射線影響科学委員会（UNSCEAR）の放射線リスク評価や国際放射線防護委員会（ICRP）の放射線防護基準に関する勧告の主要な科学的根拠とされている。被爆者および被爆二世の調査協力に深甚なる謝意を表明する。

§*Annual Review of Genetics* 誌は、遺伝に関する様々な現象を総説として世に送り出している雑誌で、バクテリアやウイルスから動植物（ヒトを含む）まで対象は幅広く、放射線関連の論文に限定されない。（2012年のインパクト・ファクター：17.436）